

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ PRO SOUČÁST “TĚLESO” S VYUŽITÍM CAD/CAM SOFTWARE V PODMÍNKÁCH FIRMY ARMO METAL BRNO

**SOLUTION TECHNOLOGY OF PRODUCTION BODY OF MODEL “TELESO” – PART TO
CAD/CAM IN CONDITION FIRM ARMO METAL BRNO**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ GULDA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2008

ABSTRAKT

Projektová práce obsahuje informace o výrobě modelového zařízení pro součást "Těleso" s využitím CAD/CAM software SolidWorks, Surfcam. 3D CAD SolidWorks umožňuje navrhnout kompletní řešení pro daný díl nebo sestavu. Obráběcí software Surfcam umožňuje počítačovou přípravu 3osé obrábění, navržení rezných nástrojů, generování NC kódů s následným postprocesingem pro řídicí systém Heidenhain iTNC 530 a následné obrábění na stroji MCV 1210 CNC. Systém Surfcam umožňuje ověřovat dráhy nástroje a upozorňuje na případné kolize s modelem či upínacím přípravkem.

Klíčová slova

CAD/CAM, SolidWorks, Surfcam, 3osé obrábění, NC kód, programovací jazyk, řídicí systém dat, obráběcí centrum MCV 1210 CNC.

ABSTRACT

The Project contains the information about the production of pattern for body with using CAD/CAM system SolidWorks, Surfcam. Three-dimensional Cad SolidWorks makes a full suggestion of existing part or formation. Machining software Surfcam makes computer preparation possible to 3-axis machining, project of cut tools, generation of NC codes with postprocessing for control system Heidenhain iTNC 530 and machining on MCV 1210 CNC. Surfcam system makes a check on trajectory of toll and notices clashes with pattern or fixture.

Key words

CAD/CAM, SolidWorks, Surfcam, three axis machining, NC program, programming language, data control system, MCV1210 CNC machining centre.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GULDA, Jiří. *Výroba modelového zařízení pro součást "Těleso" s využitím CAD/CAM software v podmínkách firmy Armo Metal Brno: Bakalářská práce*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, 2008. s 53, příloh 3. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Výroba modelového zařízení pro součást "Těleso" s využitím CAD/CAM software v podmínkách firmy Armo Metal Brno*, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 15.5.2008

.....
Jiří Gulda

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji firmě Armo Metal, s.r.o. za poskytnutí technické podpory při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

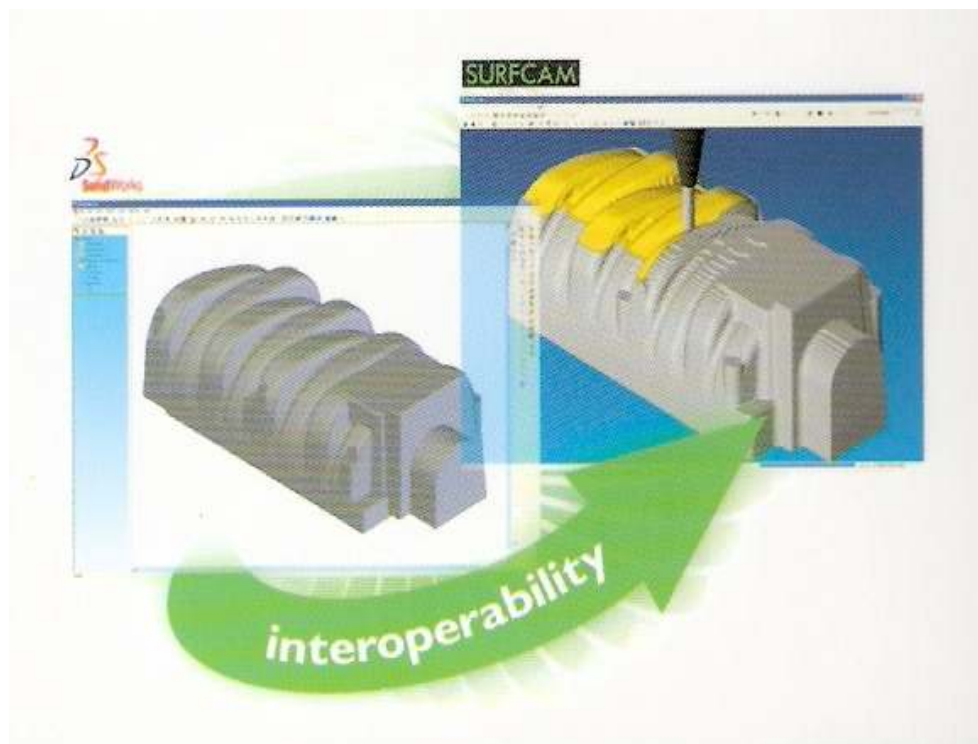
Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	8
1 Software Solidworks Office Profesional 2008	9
1.1 Funkce SolidWorks Office Profesional 2008	9
1.1.1 Nástroje pro převádění z 2D do 3D	9
1.1.2 Bezkonkurenční funkce pro 3D konstruování ve strojírenství	9
1.1.3 COSMOSWorks Designer	10
1.1.4 Software PDMWorks	10
1.1.5 Komunikační nástroje pro konstruktéry	11
1.1.6 SolidWorks Utilities	11
1.1.7 Výměna dat	12
1.1.8 Podporované jazykové verze	12
2 Tvorba Modelu v SolidWorks	13
2.1 Postup modelování modelu Tělesa	13
2.2 Návrh polotovaru v SolidWorks	19
3 Software SURFCAM VELOCITY 3.0	20
3.1 Export a Import formátů	21
3.2 Ukládání dat	21
3.3 Verifikace	21
3.4 Postprocesing	22
4 Sestavení Technické Dokumentace v Systému SURFCAM	23
4.1 Import modelu a polotovaru	23
4.2 Volba obráběcí strategie	23
4.3 Z Rough	24
4.3.1 Volba nástroje a řezné podmínky	25
4.3.2 Verifikace pro hrubování	28
4.4 3D Offset	29
4.4.1 Volba nástroje a řezné podmínky	30
4.4.2 Verifikace pro dokončení	33
4.5 Z Finish	34
4.5.1 Verifikace pro dělicí rovinu	34
4.6 Pencil Cut	35
4.6.1 Volba nástroje a řezné podmínky	36
4.6.2 Verifikace pro Pencil Cut	41
4.7 Generování programu	43
5 Stroj CNC	44
5.1 Provedení simulace na stroji	46
5.2 Zahájení obrábění na stroji	47
Závěr	49
Seznam použitých zdrojů	51
Seznam použitých zkratk a symbolů	52
Seznam příloh	53

ÚVOD

V první polovině našeho století nastal prudký rozvoj sériové a hromadné výroby v oblasti třískového obrábění. V padesátých a šedesátých letech se změnila podstata obrábění a došlo k vývoji a nasazení obráběcích strojů, které byly řízeny číslíkově zadanými informacemi. Bylo dokázáno, že číslíkově řízený řídicí systém a později počítač je schopen mnohem rychleji a v reálném čase dodávat informace o výrobním procesu, než lidský faktor. (3)

Současný stav strojírenské výroby je charakterizován neustále rostoucími požadavky na složitost výrobků, přesnost, kvalitu povrchu a také cenu. Základním směrem rozvoje technologie obrábění je hledání nových směrů a postupů, směřujících ke zvyšování jakosti výrobků, zavádění vysoce přesných technologií, jejich automatizací a mechanizací. Jedním z těchto směrů je výpočetní technika CAD/CAM systémy při řízení CNC strojů.

Programování CNC strojů je velmi náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která vyžaduje praktické znalosti a zkušenosti v oblasti obrábění. Navrhování technologických postupů, volbu rezných podmínek, atd., je závislé na efektivnosti využití CNC strojů. Některé řídicí systémy mohou řídit i více souřadných os najednou. (3)



Obr. 1 Asociativita systému SURFCAM na data vytvořená systémem SolidWorks (2)

1 SOFTWARE SOLIDWORKS OFFICE PROFESIONAL 2008

SolidWorks je světová jednička mezi 3D CAD systémy určenými pro nejširší strojírenský trh. Software SolidWorks poskytuje nástroje pro modelování dílů, sestav a vytváření dvojrozměrné výkresové dokumentace, přičemž navíc přináší více vylepšení šetřících váš čas než kterýkoli jiný 3D CAD systém. (1)

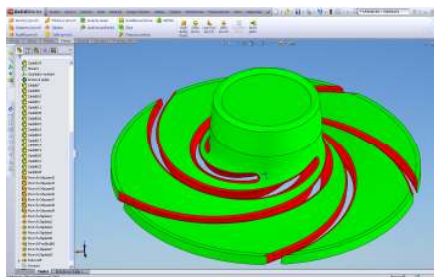
1.1 Funkce SolidWorks Office Profesional 2008

1.1.1 Nástroje pro převádění z 2D do 3D

- **DVGEEditor** – stávající DWG či DXF soubory můžete přímo editovat a spravovat pomocí DWGEditoru – nástroje, který okamžitě přijme za vlastní každý uživatel aplikace AutoCAD.
- **Nástroje pro zvýšení produktivity** – usnadníte si vytváření 3D modelů s využitím nejlepších nástrojů 2D do 3D. K dispozici je podpora bloků či přímé načítání DWG a DXF souborů do skicáře. (1)

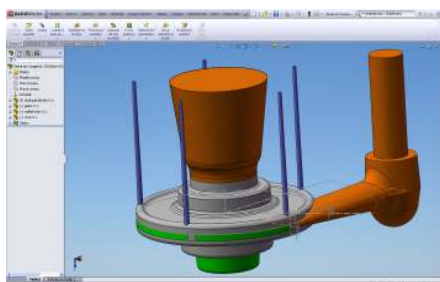
1.1.2 Bezkonkurenční funkce pro 3D konstruování ve strojírenství

- **Modelování dílů** – konstrukce lze snadno vytvářet pomocí vysunutí, otočení, tažení, spojení profilů, pomocí tenkostěnných prvků, skořepin, polí a děr s využitím jedinečných prvků orientovaného modelování. (1)



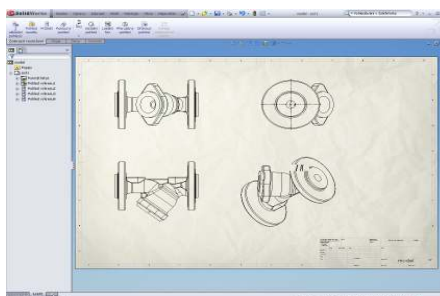
Obr. 1.1 Ukázka modelování dílů

- **Modelování sestav** – při práci v sestavě lze přímo odkazovat na ostatní komponenty, spravovat vazby, vytvářet nové a upravovat stávající komponenty. (1)



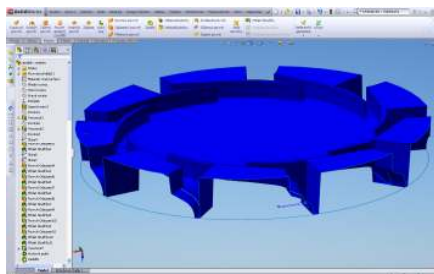
Obr. 1.2 Ukázka modelování sestav

- **Velké sestavy** – jedině se SolidWorks lze získat nepřekonatelný výkon pro rychlou a hladkou práci s velkými sestavami o desítkách tisíců komponentů a to bez nutnosti načítat všechny tyto komponenty do paměti.
- **2D výkres** – vytváření kompletní výkresové dokumentace je možné bez nutnosti nakreslit jedinou čáru nebo oblouk, opravy jsou snadné a přesné, kusovníky a pozice lze generovat jediným klepnutím myši. (1)



Obr. 1.3 Ukázka tvorba 2D výkresu

- **Povrchy** – komplexní plochy se mohou vytvářet pomocí spojení profilů a tažení po křivce s řídicími křivkami a kontrolou tečnosti a křivosti. Plochy se mohou ořezávat, prodlužovat, zaoblovat, sešívat, vyplňovat, doplňovat, nahrazovat, atd. (1)



Obr. 1.4 Ukázka modelování povrchu

1.1.3 COSMOSWorks Designer

COSMOSWorks Designer je první výkonný software pro ověřování konstrukcí, který je určen nejen pro specialisty, ale i pro konstruktéry a inženýry, takže umožňuje prakticky komukoliv kontrolovat a zlepšovat kvalitu a bezpečnost výrobku jeho otestováním za reálných provozních podmínek ještě před uvedením do výroby. Při použití softwaru dosáhnete zlepšení kvality výrobků pomocí rychlého a snadného zjištění oblastí náchylných ke vzniku zeslabení či dokonce trhliny. Také lze snížit náklady odstraněním nadbytečného materiálu či minimalizovat potřebu použití fyzických prototypů. (1)

1.1.4 Software PDMWorks

PDMWorks je řešení pro správu výrobní dokumentace se snadnou instalací a obsluhou, které členům konstrukčního týmu poskytuje možnost

bezpečné a efektivní kontroly nad verzemi a revizemi vytvořených souborů a správ všech dat v projektu. (1)

1.1.5 Komunikační nástroje pro konstruktéry

- **eDrawings Profesional** - umožňuje neomezenému počtu příjemců provádět poznámkování a připomínkovací řízení pomocí e-mailu, lze snadno a rychle spolupracovat při navrhování výrobků. Pomocí eDrawings můžete generovat přesné prezentace 2D a 3D modelů, které může kdokoli prohlížet, připomínkovat a měřit bez nutnosti pořízení a instalování dalších prohlížečů.
- **3D Instant Website** – je nástrojem pro publikování v síti WWW, který umožňuje jediným klepnutím myši sdílet 3D modely se zákazníky, spolupracovníky a dodavateli. Rychlé vytváření webových stránek chráněným heslem, které návštěvníkům umožňují prohlížení trojrozměrných modelů, které mohou otáčet, přibližovat, přesouvat a přidávat k nim komentáře. Výběr z řady přizpůsobitelných šablon stylů a formátů zobrazení, lze dosáhnout vysoké úrovně kvality při posuzování návrhů.
- **PhotoWorks** – tvorba působivých fotorealistických obrázků a pokročilých vizualizačních efektů, jako je uživatelsky definované osvětlení či rozsáhlé knihovny materiálů, textur a scén pozadí.
- **SolidWorks Animator** – tvorba působivého videa pomocí animací dílů a sestav SolidWorks do AVI souborů, díky nimž lze efektivněji prezentovat koncept návrhu komukoli, kdo má počítač se systémem Windows. Lze získat lepší představu o navrhovaných výrobcích díky možnosti zachycení dílů a sestav v pohybu. (1)

1.1.6 SolidWorks Utilities

Nástroj dokáže snadno vyhledat rozdíly mezi dvěma verzemi dílu, upravit a potlačit určité prvky modelu. Tato aplikace obsahuje celou řadu funkcí pro zvýšení produktivity, které usnadní práci. (1)

- **FeatureWorks** – nástroj může provádět změny statických importovaných modelů, čímž zvyšuje hodnotu starších dat a zkracuje dobu nutnou k přepracování modelů. Je možné zachovat nebo představit nový konstrukční záměr přenesením 3D modelů vytvořených v jiných aplikacích do systému SolidWorks. Přidané prvky jsou po rozpoznání nástrojem FeatureWorks plně upravitelné, asociativní a parametrické. (1)
- **Plánovač úloh SolidWorks** – zvýšení produktivity prováděním některých hardwarově náročných úloh během přestávek či mimo pracovní dobu, generování výkresů či spouštění analýz a souborů eDrawings ve vysoké kvalitě dat v projektu. Import, export nebo aktualizace souborů a uživatelsky definovaných vlastností.
- **SolidWorks Toolbox** – využívá technologii SolidWorks Smart Part k automatickému výběru správných spojovacích prvků (šrouby,

matice, podložky atd.) a jejich sestavení ve správném pořadí. Rychlá a přesná parametrická konfigurace dílů. (1)

1.1.7 Výměna dat

SolidWorks obsahuje integrované překladače, které jsou kompatibilní s téměř všemi systémy CAD pro konstrukční práce ve strojírenství jež jsou dnes na trhu dostupné (DWG, DXF, Pro/Engineer, IPT - Autodesk Inventor, Mechanical Desktop, Unigraphics, CADKEY, Rhino, IGES, IDF, STEP, Parasolid, SAT, STL, VDA - FS, TIFF, JPG, AI, PDF, 3D XML, CGR - Grafika CATIA, HGR - Vysoce komprimovaná grafika CATIA, HSF-Hoops. (1)

1.1.8 Podporované jazykové verze

- Čínština
- Čeština
- Angličtina
- Francouzština
- Němčina
- Italština
- Japonština
- Korejšťina
- Polština
- Portugalština
- Ruština
- Španělština (1)

2 TVORBA MODELU V SOLIDWORKS

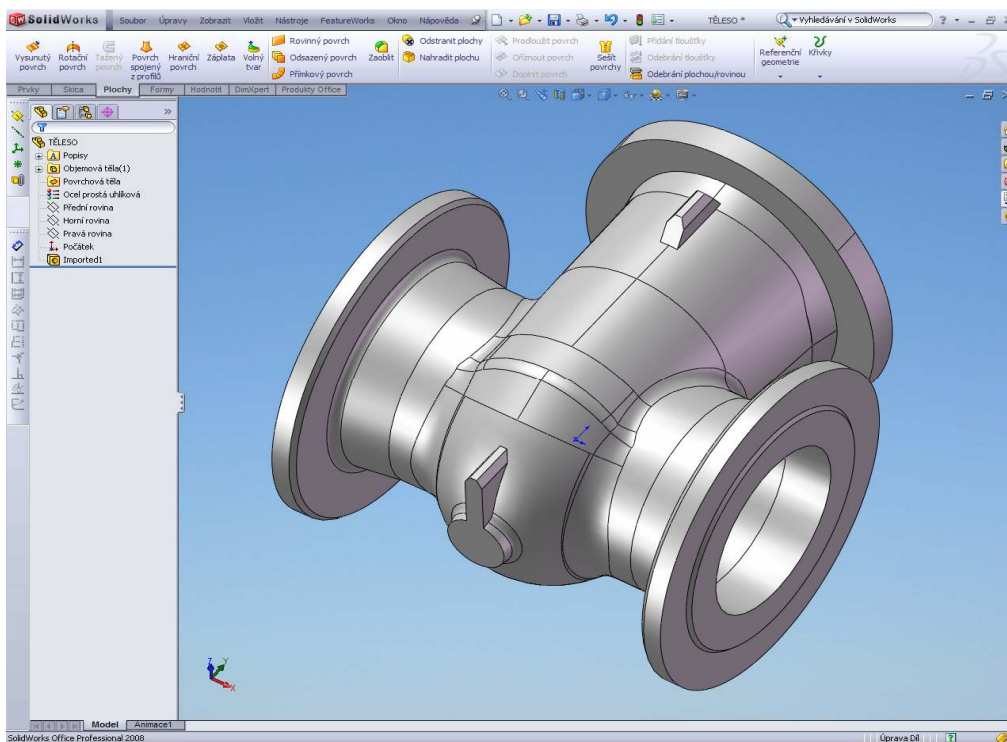
Při použití importovaného modelu ve formátu souboru, Parasolid, STEP nebo IGES od zákazníka je nutné dokreslit slévárensko-technologické části modelu.

Model je nakreslen jako hotový výrobek, tzn. upraví se síla stěny, rádiusy, úkosity, přídavky na opracování, známky a měřítko. Model se kompletně připraví pro obrábění. Rozdělí se na dvě poloviny od dělicí roviny, zvolí se souřadný systém a uloží se jako Parasolid (X_T), je to nejlepší soubor pro obráběcí software SURFCAM, zmenší se velikost souboru, tím se zamezí ztrátě dat přenosem. Modelování jaderníku je stejné jako u modelu, ale vychází se z vnitřní strany tělesa. Při konstrukci tohoto jaderníku je nutné dbát na technologické části (kroužky), které budou udělány na volné vytažení tím se odstraní negativní úkos a bude možné zhotovit dobrou formu.

Projekt je zaměřen především na výrobu modelu a jaderník bude jen zmíněn jako součást modelového zařízení.

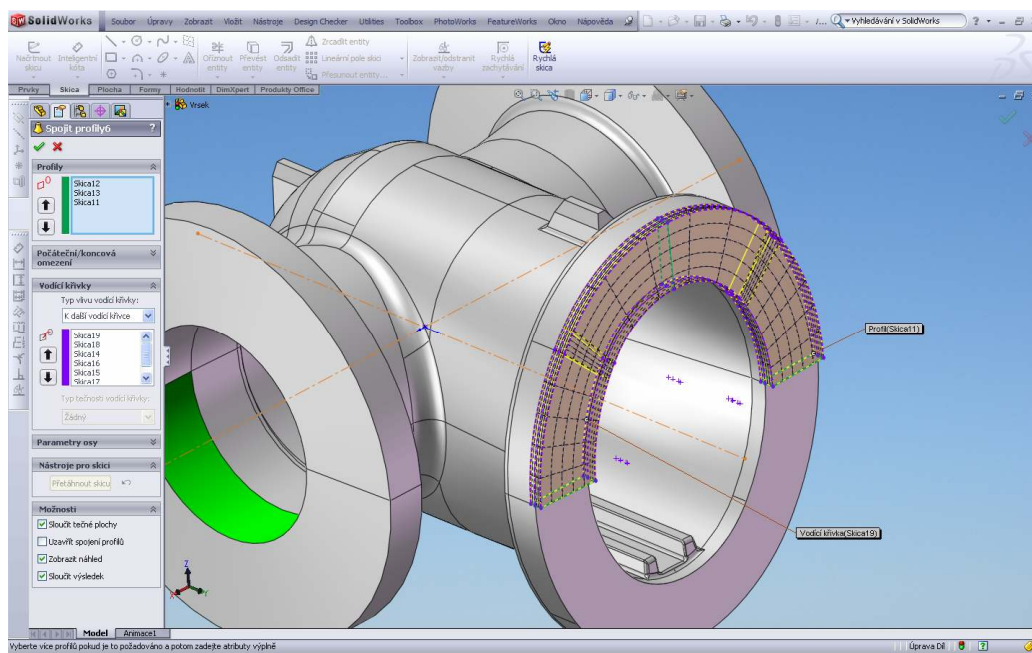
2.1 Postup modelování modelu Tělesa

Načtení modelu, diagnostika importu – kontrola těl, povrchů, čar a kontrola rozměrů podle výkresu.



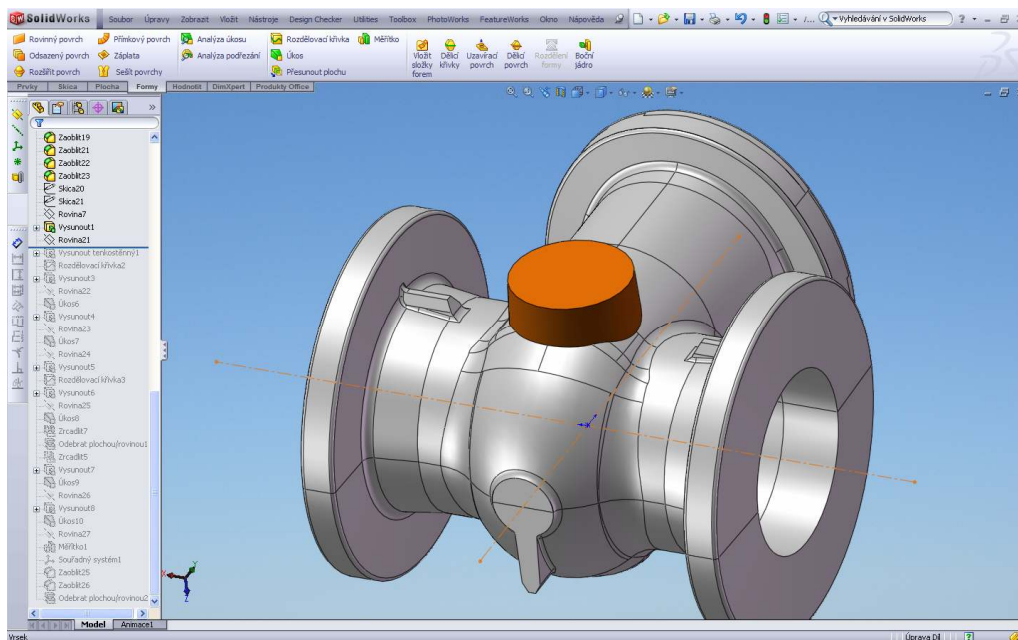
Obr. 2.1 Načtení modelu a diagnostika importu

Při tvorbě technologického přídávku na druhé straně oválné příruby je rovněž použito spojení profilů, pro dosažení slévárenského úkosu.



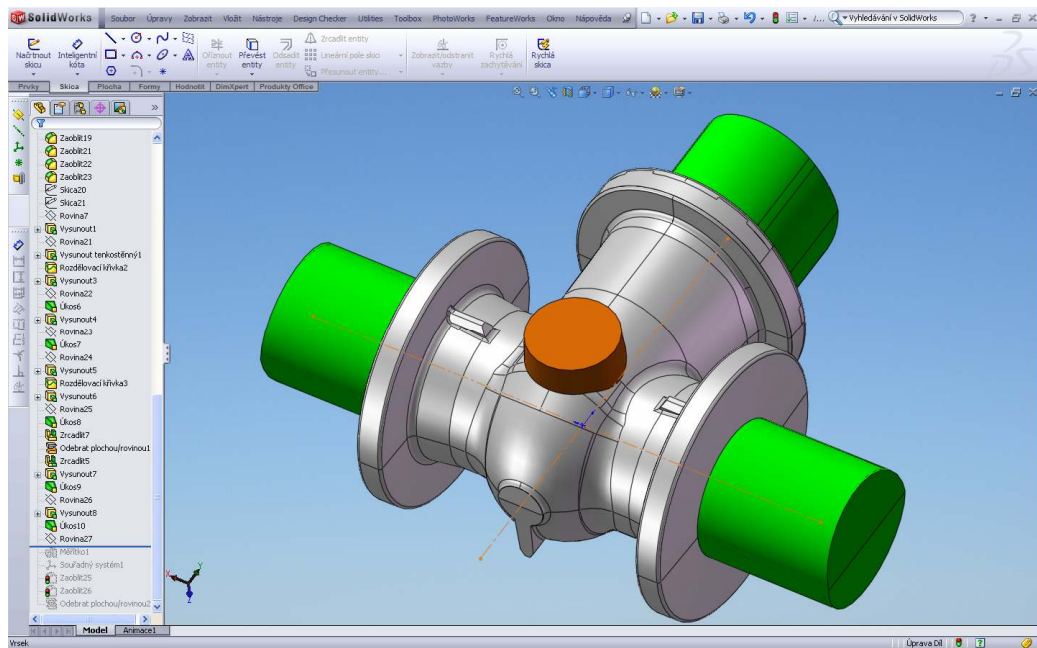
Obr. 2.4 Spojení profilů příruby z druhé strany

Tvorba sedla pro náletek.



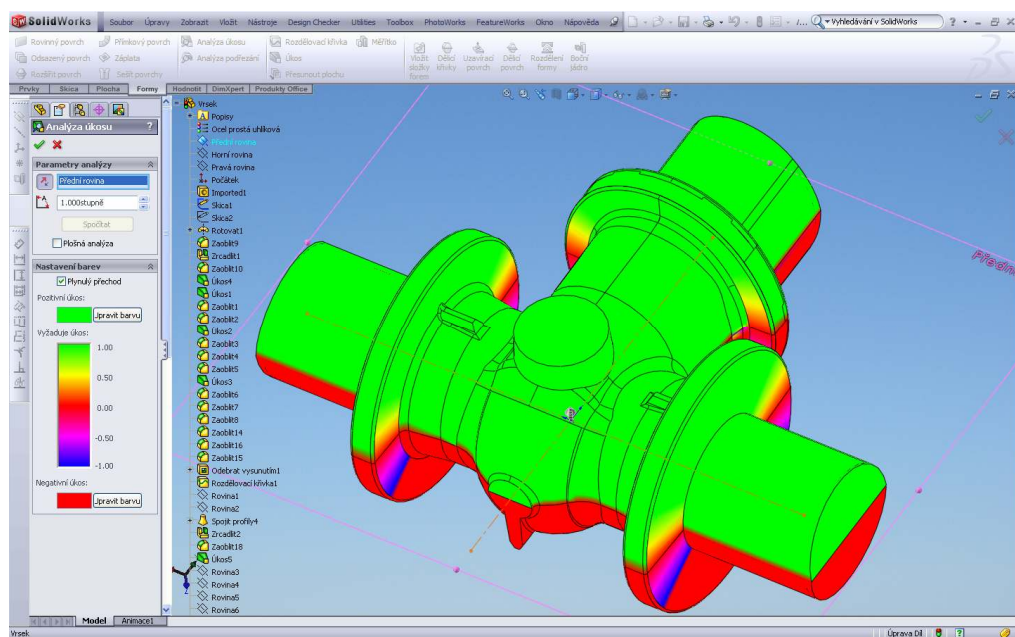
Obr. 2.5 Část sedla pro náletek

Konstrukce známek modelu. Znamka slouží k přesnému založení jádra do formy.



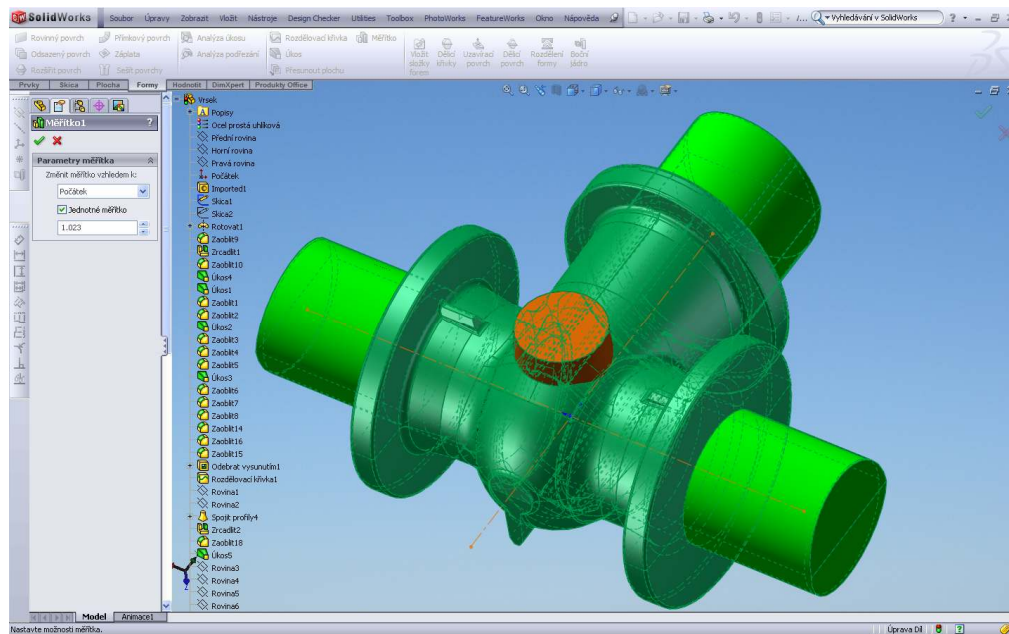
Obr. 2.6 Zhotovení známek

Je provedena kontrola povrchu těla: **Analýza úkosu** - slouží ke zjištění negativního úkosu na modelu. Je nutné, aby na modelu byly vždy pozitivní úkosy z důvodů vytažení modelu z formy.



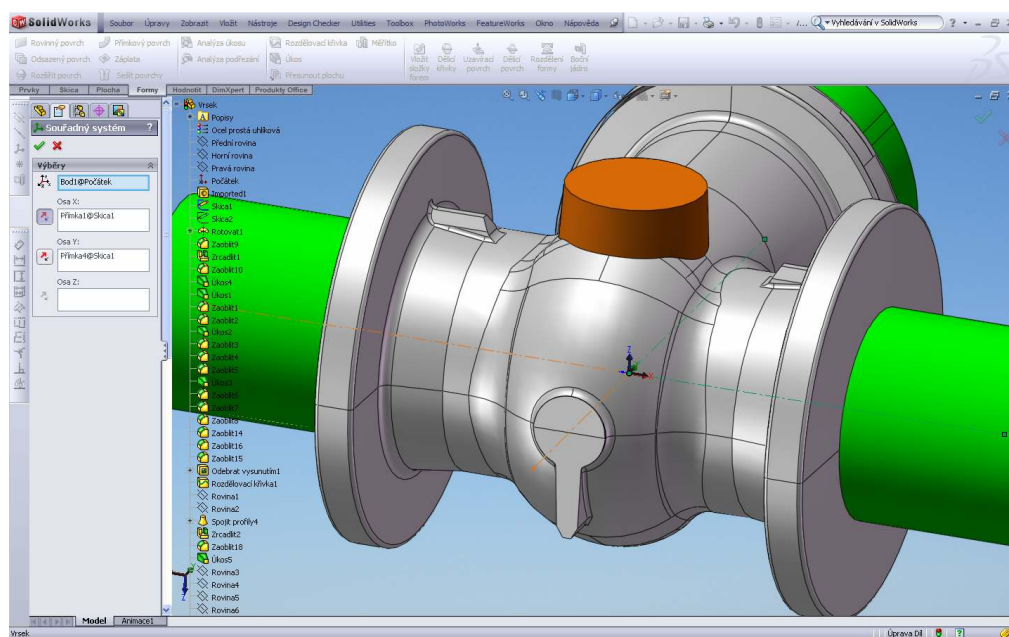
Obr. 2.7 Analýza úkosu

V této fázi je model zvětšen o smrštění v procentech dané výkresem. Jde o smrštění materiálu - pozn. (při chladnutí kovu se rozměry odlitku zmenšují smršťováním materiálu).



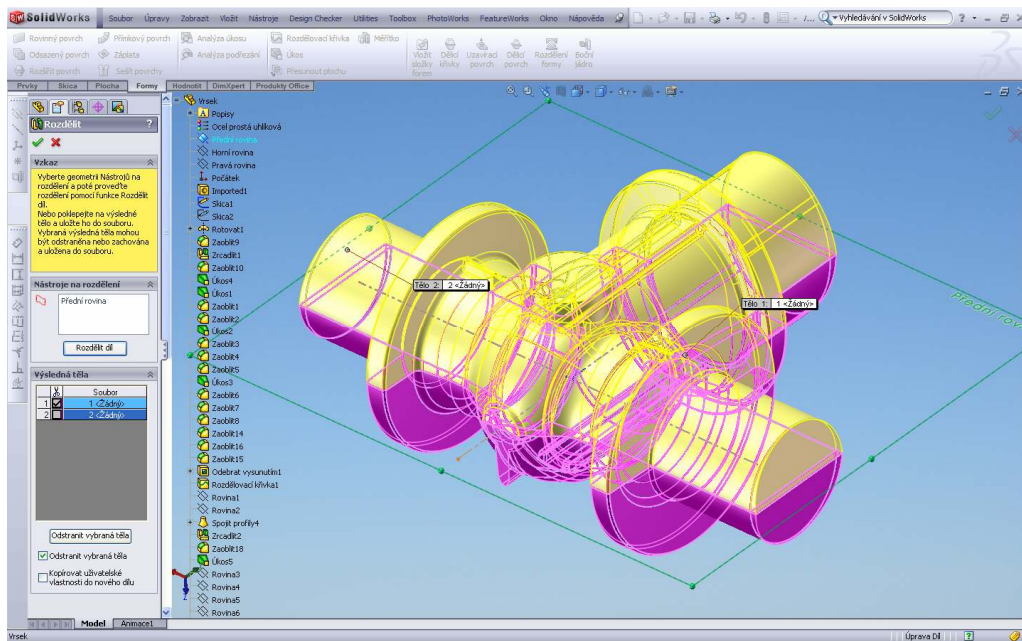
Obr. 2.8 Měřítko modelu (smrštění)

Zvolení souřadného systému pro obrábění je nejvhodnější ve středu tělesa v průsečíku os dle výkresu. Nedojde ke špatnému nastavení polotovaru na obráběcím stroji.



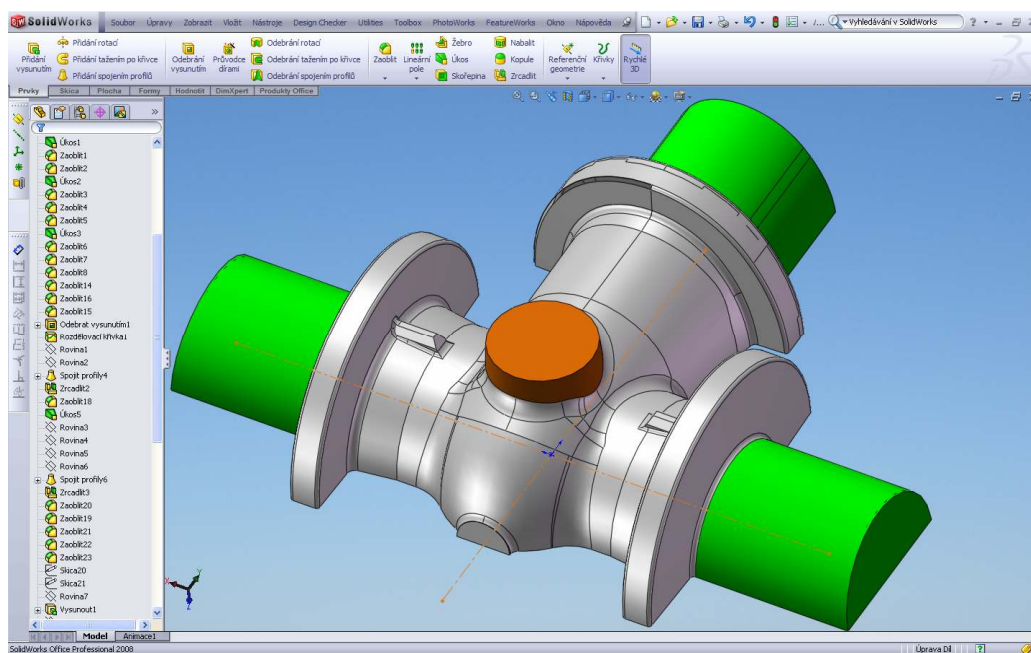
Obr. 2.9 Souřadný systém

Rozdělení modelu na spodní polovinu a vrchní polovinu. Vrchní polovina je část s nálitky a spodní polovina je část s označením (logo, pořadové číslo, materiál, atd).



Obr. 2.10 Rozdělení modelu

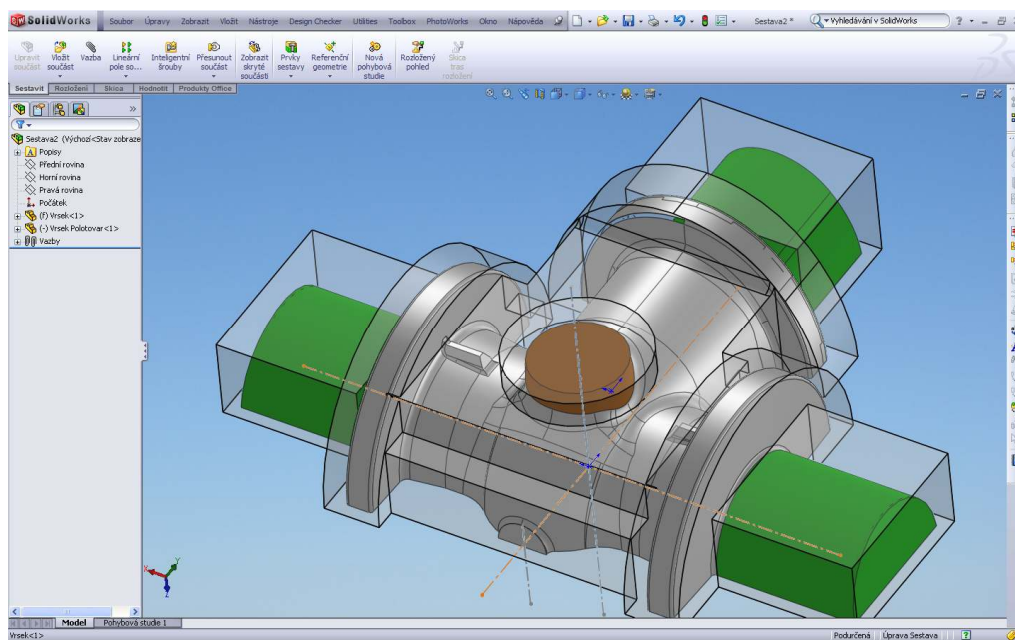
Model vrchní polovina uložíme jako Parasolid (X_T), nejvhodnější formát souboru pro načtení těla modelu do systému SURFCAM.



Obr. 2.11 Model vrchní polovina

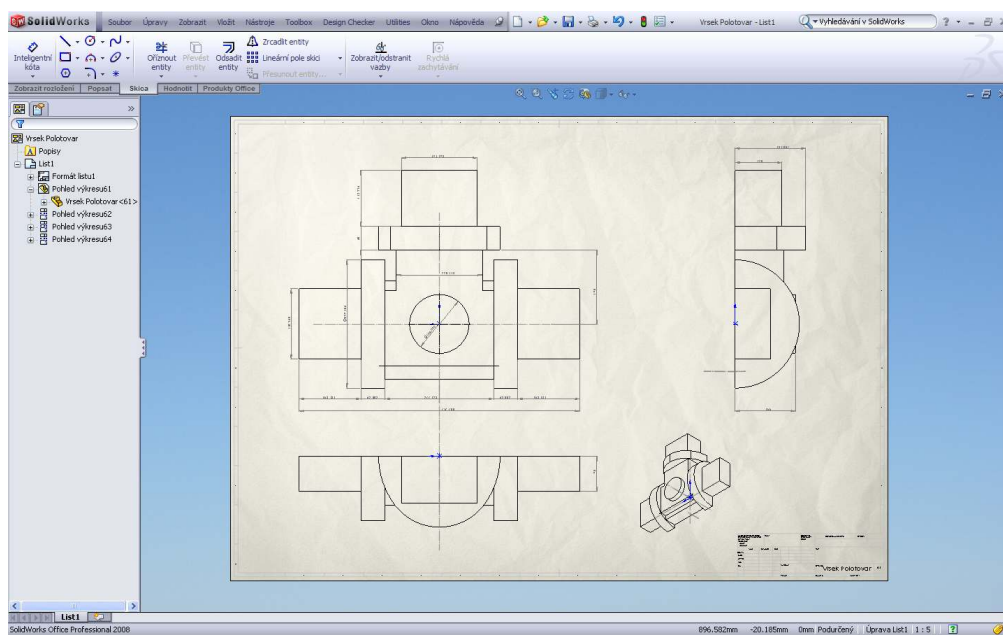
2.2 Návrh polotovaru v SolidWorks

Návrh polotovaru je proveden podle navrženého modelu pro obrábění. Přídatkem je volen tak, aby příprava polotovaru byla co nejjednodušší pro výrobu. Polotovar bude mít odpovídající tvar a uložíme jej ve dvou formátech. První formát souboru bude Parasolid (X_T) a druhý formát souboru bude STL (stl), pro další zpracování v systému SURFCAM.



Obr. 2.12 Sestava model a polotovar

Výkres polotovaru pro dřevomodeláře. Jednoduchý výkres na výrobu polotovaru vytvořený v systému SolidWorks. Výkres je vytisknutý se smrštěním materiálu.



Obr. 2.13 Výkres polotovaru

3 SOFTWARE SURFCAM VELOCITY 3.0

SURFCAM je CAD/CAM systém určený pro technologická pracoviště s následnou provázaností na CNC výrobu. Tento systém je naprogramován pro operační systém Windows. Systém SURFCAM obsahuje 3D modelář, který je schopen vytvářet jednoduché i složité díly. V návaznosti na modely je možné vytvářet jak technologické výkresy pro určení polotovarů, upínačů se všemi potřebnými kótami, tak kontrolní výkresy pro kontrolu již vyrobených kusů. Lze zpracovávat převzaté modely z různých přenosových formátů nebo vytvářet vlastní modely od počátku. (2)

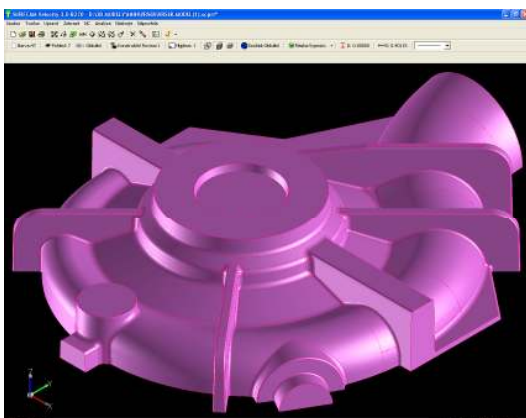
SURFCAM umožňuje generovat NC kódy pro 2,5 až 5osé frézky, soustruhy, drátořezy, plazmu a další. Je možné ověřovat dráhy nástroje a upozorňovat na případné kolize s obrobkem či upínačem. (2)

SURFCAM 3-Axis je nejvíce využívaný modul, hodí se pro frézování rozsáhlých 3D tvarů. Tento modul se nejčastěji používá na výrobu forem, zápusťek, atd. V tomto 3osém modulu je možné využívat operace na technologii např.: (2)

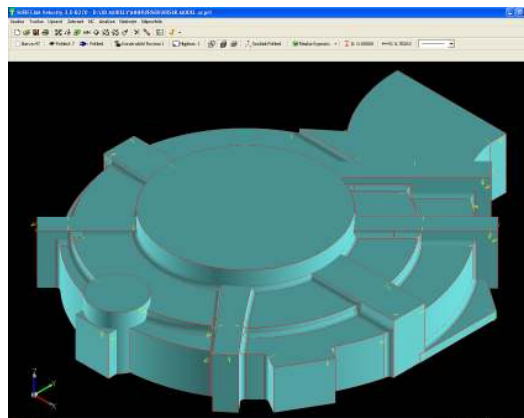
- **SRM (Step Reduction Milling)** (Frézování s Redukcí Kroku) – hrubování tvarově složitých dílců (forem, zápusťek), používá až 8 nástrojů v jedné operaci.
- **Z Rough** (Z hrub) – odstraňuje velké množství materiálu jako příprava pro další operace.
- **HSM (High Speed Machining)** (Vysokorychlostní Obrábění) – konstantní vytížení nástroje.
- **3D Offset** (3D Ofset) – dokončovací operace.
- **Project** (Promítnout) – promítá existující dráhu nástroje na plochu pro vytvoření nové dráhy nástroje.
- **TrueMill (Tool Radius Uniform Engagement)** (konstantní vytížení nástroje) – odebírání velkého množství materiálu v kratším čase.
- **Z Finish** (Z Finiš) – obrábí vícenásobné plochy strmějšího úhlu.
- **Plunge Rough** (Hrubovat Odvrtáváním) – odstraňuje velké množství materiálu odvrtáváním.
- **Planar** (Rovinný) – rovinné frézování přes několik ploch.
- **SteepShallow** (StrméMělké) – umožňuje obrábět strmé a mělké plochy.
- **Flat Surface** (Rovný Povrch) – obrábí jen rovné plochy. (2)

3.1 Export a Import formátů

SURFCAM umožňuje komunikaci s mnoha systémy na základě přenosových formátů. Základní datové formáty pro přenos či komunikaci např: IGES, X_T, X_B, VDA, STEP, STL, DXF, atd. (2)



Obr. 3.1 Ukázka načtení modelu spirály ve formátu Parasolid (X_T)



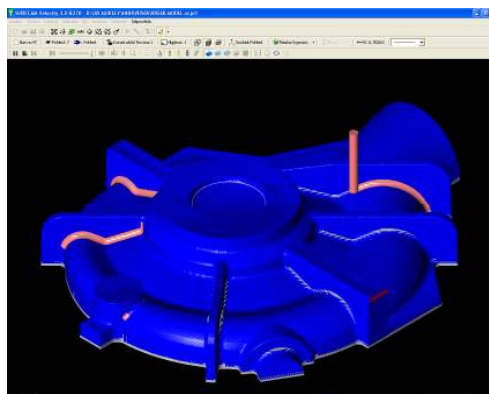
Obr. 3.2 Ukázka načtení polotovaru spirály ve formátu Parasolid (X_T)

3.2 Ukládání dat

Pro programátory je ukládání dat velmi důležité, protože při otevírání rozpracované práce nebo při návratu k odvedené zakázce po určité době je možné dostat se ke všem informacím o obrábění. Systém SURFCAM ukládá data s příponou (.SCPRT). (2)

3.3 Verifikace

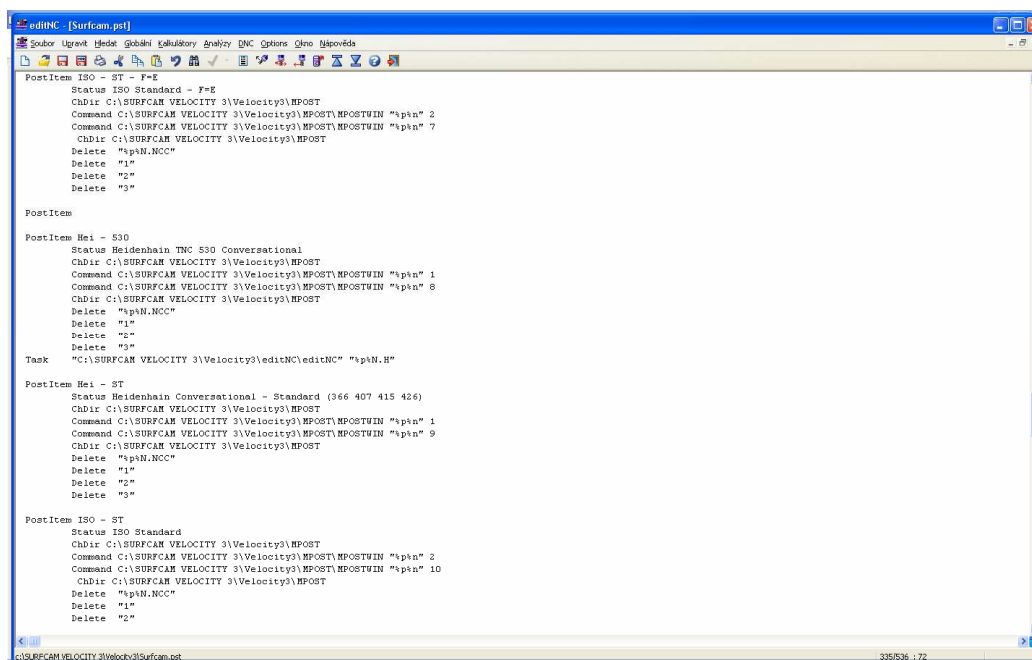
Proces Verifikace umožňuje ověřit dráhu nástroje před spuštěním obráběcího stroje. Upozorní na případné kolize nástroje s materiálem, upínacím přípravkem či upínacími prvky. Je možné nastavit různé barvy hladin řezů na obrobeném tvaru. Verifikace je proces generování odladěných NC kódů. (2)



Obr. 3.3 Ukázka verifikace: Tužkové obrábění spirály

3.4 Postprocessing

V systému SURFCAM je rozsáhlá knihovna obsahující přes 100 postprocesorů pro soustruhy, frézky, atd., které je možno upravovat podle vlastních požadavků. Také umožňuje vytvořit novou knihovnu pro nový řídicí systém. (2)



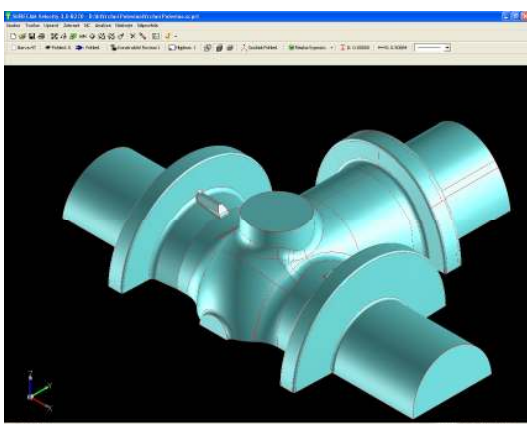
Obr. 3.4 Ukázka postprocesorů z knihovny SURFCAMU

4 SESTAVENÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE V SYSTÉMU SURFCAM

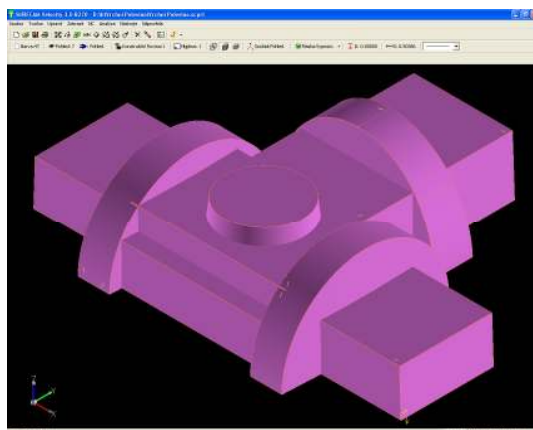
Obráběcí proces bude zaměřen na volbu řezných nástrojů, import modelu, výpočet otáček nástroje, volbu hrubovacího a dokončovacího cyklu, verifikaci v programu SURFCAM, simulaci na stroji a samotnou výrobu modelu.

4.1 Import modelu a polotovaru

Načtení modelu a polotovaru ze systému SolidWorks do systém SURFCAM ve formátu Parasolid (X_T) a následná kontrola ploch, kontrola souřadného systému a kontrola podřezání modelu.



Obr. 4.1 Načtení modelu do systému SURFCAM



Obr. 4.2 Načtení polotovaru do systému SURFCAM

Všechny kontroly modelu jsou velmi důležité pro další zpracování. Chybné plochy či kontury lze opravit nebo vymodelovat znovu. Systém SURFCAM umožňuje nastavit tolerance napojování, tolerance systému a tolerance pohledu. Při načítání se tyto tolerance promítnou v grafickém zobrazení modelu. Při načítání modelu je možné nastavit automatické opravy kontur a ploch.

4.2 Volba obráběcí strategie

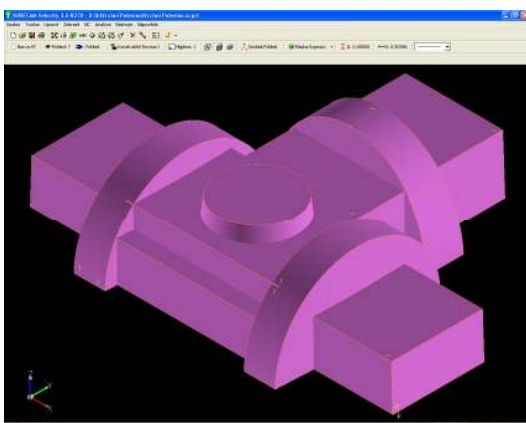
Výroba modelu bude obsahovat obráběcí strategie:

- **Z Rough**
- **3D Offset**
- **Z Finish**
- **Pencil Cut**

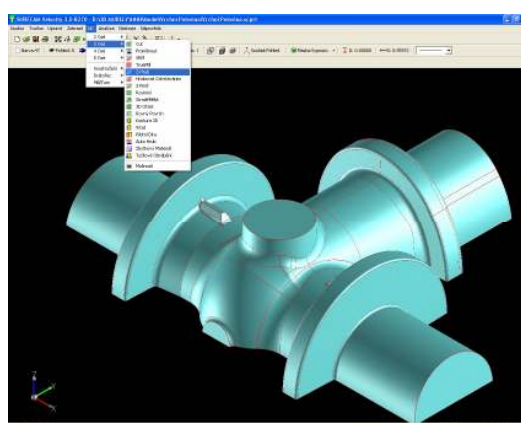
4.3 Z Rough

Z Rough (Z Hrub) – odstraňuje velké množství materiálu jako příprava pro další operace. Tato operace používá pohyby nástroje ve 2 osách (XY) s přírůstkem v ose Z. (2)

V této operaci je nutné upravit plochy pro hrubování. Každý prvek plochy má malou šipku připojenou k jednomu rohu. Tato šipka označuje stranu plochy a směr, kterým se bude nástroj pohybovat. Při nastavení obrábění ploch musí tyto šipky směřovat směrem do polotovaru.

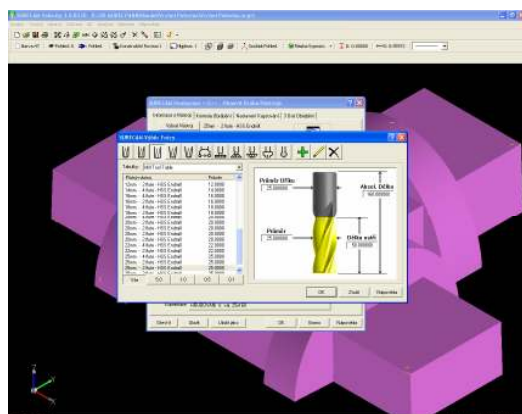


Obr. 4.3 Směr šipek v polotovaru

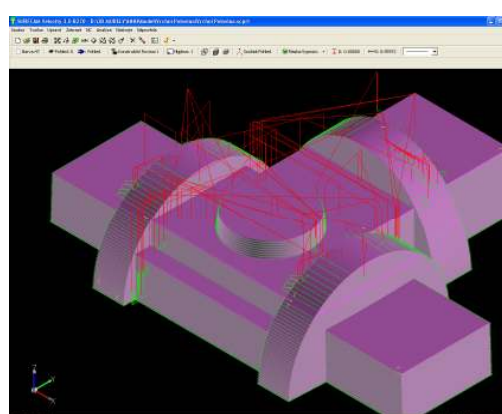


Obr. 4.4 Zvolení Z Rough

Obrábění ploch znamená, že nástroj se pohybuje jen tam, kde je materiál polotovaru. Řezné podmínky při hrubování jsou navrženy tak, aby bylo možné odebrat co největší množství materiálu v co nekratším čase, ale tak, aby nedocházelo k poškození frézovacího nástroje nebo obráběného materiálu.



Obr. 4.5 Volba hrubovacího nástroje



Obr. 4.5 Výpočet drah hrubování polotovaru

Při hrubování dřeva je vhodné použít sousledné frézování. Dřevo je materiál s menší hustotou a často se odlamují třísky nebo odlétají části modelu, které je nutno přilepit zpět. Při sousledném frézování se zaručí větší kvalita povrchu po hrubování. Příklad je volen 0,75 mm na povrch modelu pro dokončující operaci. Nástroj je chlazen vzduchem. Velmi důležité je nastavit vyložení nástroje tak, aby nedošlo ke kolizi upínače s obrobkem.

4.3.1 Volba nástroje a řezné podmínky

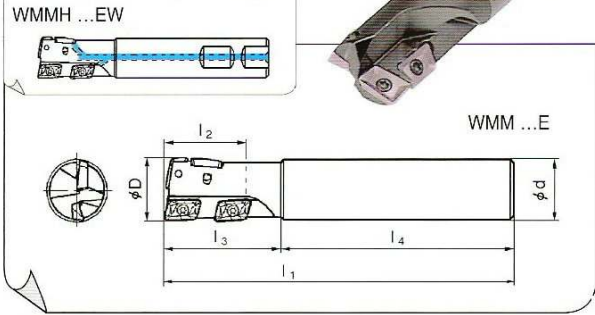
Systém SURFCAM má databázi před definovaných nástrojů, které je možno použít nebo si vytvořit svou databázi nástrojů.

Stopková fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy Sumitomo je vhodná k bočnímu frézování, kapsování, zavrtávání, rampové frézování, spirálové frézování. Nástroj je vhodný pro obrábění uhlíkové oceli, nerezové oceli, litiny a hliníkových slitin. Lze ji použít také k obrábění dřeva (olše, javor).







Pro operaci Z Rough - nástroj válcová fréza o průměru $D_C = 25$ mm, celkové délky $L_1 = 220$ mm.

- Volba nástroje

WMM(H) 2000 E/EL/EW/ELW
"Wave Mill"-E, Shank Type





■ Body

Shank	Cat. No.	Stock	Dimensions(mm)						Total teeth	Effective teeth
			øD	ød	L ₂	L ₃	L ₄	L ₁		
	WMM 2020E	●	20	20	17	35	95	130	3	1
	WMM 2025E	●	25	25	26	40	100	140	4	1
(Long type)										
	WMM 2020EL	●	20	20	17	60	125	185	3	1
	WMM 2025EL	●	25	25	26	75	145	220	4	1
(Weldon shank type)										
	WMM 2020EW	●	20	20	17	35	95	130	3	1
	WMM 2025EW	●	25	25	26	40	100	140	4	1
(Long type with weldon shank)										
	WMM 2020ELW	●	20	20	17	60	125	185	3	1
	WMM 2025ELW	●	25	25	26	75	145	220	4	1
(WMMH Standard type with coolant holes and weldon shank)										
	WMMH 2020EW	●	20	20	17	35	95	130	3	1
	WMMH 2025EW	●	25	25	26	40	100	140	4	1
(WMMH Long type with coolant holes and weldon shank)										
	WMMH 2020ELW	●	20	20	17	60	125	185	3	1
	WMMH 2025ELW	●	25	25	26	75	145	220	4	1

Obr. 4.6 Stopková fréza od firmy Sumitomo (7)

- Označení nástroje: **WMM 2025EL**

■ Body

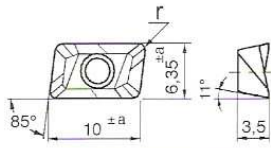
Shank	Cat. No.	Stock	Dimensions(mm)						Total teeth	Effective teeth
			ØD	Ød	l ₂	l ₃	l ₄	l ₁		
	WMM 2020E	●	20	20	17	35	95	130	3	1
	WMM 2025E	●	25	25	26	40	100	140	4	1
(Long type)										
	WMM 2020EL	●	20	20	17	60	125	185	3	1
	WMM 2025EL	●	25	25	26	75	145	220	4	1

Obr. 4.7 Označení typu frézy (7)

- Volba břitových destiček:


■ Inserts for WMM 2000 series

(mm)



Cat. No.	Coated			Diamond coated	Un-coated	Dimensions	
	ACZ310	ACZ330	ACZ350			H1	r a
APMT 103504 PDER	●	●	●	—	—	—	0,4 0,08
APMT 103508 PDER	●	●	●	—	—	—	0,8 0,08
APMT 103512 PDER	○	○	○	—	—	—	1,2 0,08
APMT 103504 PDER-H	●	●	●	—	—	—	0,4 0,08
APMT 103508 PDER-H	○	●	○	—	—	—	0,8 0,08
APMT 103512 PDER-H	○	●	○	—	—	—	1,2 0,08
APET 103504 PDER-F	●	●	●	—	—	—	0,4 0,025
APET 103504 PDER-S	—	—	—	●	●	—	0,4 0,025

APMT... PDER APMT... PDER-H ● = Euro stock
 ○ = Delivery on request



$\theta_2 < \theta_1$
 $L_2 > L_1$

PDER-H : Stronger cutting edge

PDER-F : Ground insert for finishing

PDER-S : Round honed sharp cutting edge for aluminium

Obr. 4.8 Označení břitových destiček (7)

Řezné podmínky pro obrábění nekovových materiálů podle katalogu od firmy Walter viz. Obr. 4.9. (10)

Řezné podmínky pro hrubování viz.(Obr. 4.9):

- řezná rychlost $v_c = 250$ až $4000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- posuv na zub $f_z = 0,08$ až $1,0 \text{ mm}$ (10)

Cutting data for WALTER PCD milling cutters

Material group	Classification of the main material groups and code letters		Brinell hardness HB	Machining group	Cutting speed v_c [m/min]	Feed per tooth f_z [mm]
	Workpiece material					
P	Non-alloyed steel ¹	approx. 0.15 % C annealed	125	1		
		approx. 0.45 % C annealed	190	2		
		approx. 0.45 % C tempered	250	3		
		approx. 0.75 % C annealed	270	4		
		approx. 0.75 % C tempered	300	5		
	Low-alloyed steel ¹	annealed	180	6		
		tempered	275	7		
		tempered	300	8		
		tempered	350	9		
	High-alloyed steel and high-alloyed tool steel ¹	annealed	200	10		
		hardened and tempered	325	11		
	Stainless steel ¹	ferritic / martensitic, annealed	200	12		
		martensitic, tempered	240	13		
M	Stainless steel ¹	austenitic ² , quenched	180	14		
K	Grey cast iron	perlite/ferritic	180	15		
		perlite (martensitic)	260	16		
	Cast iron with spheroidal graphite	ferritic	180	17		
		perlite	250	18		
	Malleable cast iron	ferritic	130	19		
N	Aluminium wrought alloys	can not be hardened	60	21	500–5000	0.05–0.2
		can be hardened, hardened	100	22	500–4000	0.05–0.2
	Aluminium cast iron alloys	≤ 12 % Si, can not be hardened	75	23	500–4000	0.05–0.2
		≤ 12 % Si, can be hardened, hardened	90	24	400–3800	0.05–0.2
		> 12 % Si, can not be hardened	130	25	250–3000	0.03–0.15
	Copper and copper alloys (bronze/brass)	Free cutting alloys, Pb > 1 %	110	26	300–6000	0.05–0.4
		Brass, red brass	90	27	300–6000	0.05–0.4
		Bronze, lead-free copper and electrolytic copper	100	28		
	Non-metallic materials	Curable plastics, fibre-reinforced plastics		29	250–4000	0.08–1.0
		Hard rubber		30		
S	Heat-resistant alloys	Fe basis annealed	200	31		
		Fe basis hardened	280	32		
		Ni or Co basis annealed	250	33		
		Ni or Co basis hardened	350	34		
		cast	320	35		
	Titanium alloys	Pure titanium	400 ³	36		
H	Hardened steel	hardened and tempered	55 ⁴	38		
		hardened and tempered	60 ⁴	39		
	Chilled cast iron	cast	400	40		
	Hardened cast iron	hardened and tempered	55 ⁴	41		

¹ and cast steel² and austenitic / ferritic³ Rm: tensile strength in MPa = N/mm²⁴ HRC: Rockwell hardness HRC C⁵ The machining group assignment can be found from page 798 onwards.

Obr. 4.9 Data řezných podmínek pro obrábění (10)

- Výpočet otáček:

$$v_c = 600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$D_c = 25 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{600 \cdot 1000}{\pi \cdot 25} = 7639,45 \text{ min}^{-1} \approx 7640 \text{ min}^{-1} \quad (4.1)$$

- Výpočet rychlosti posuvu:

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$

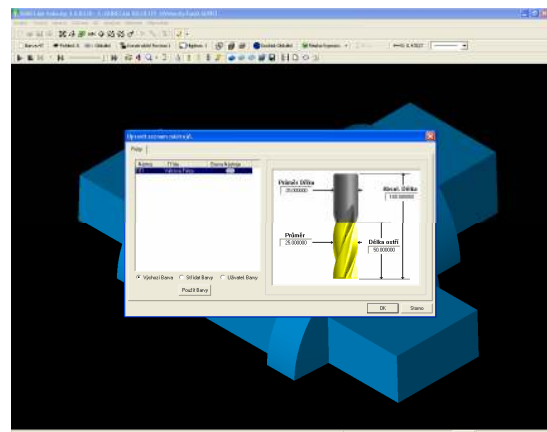
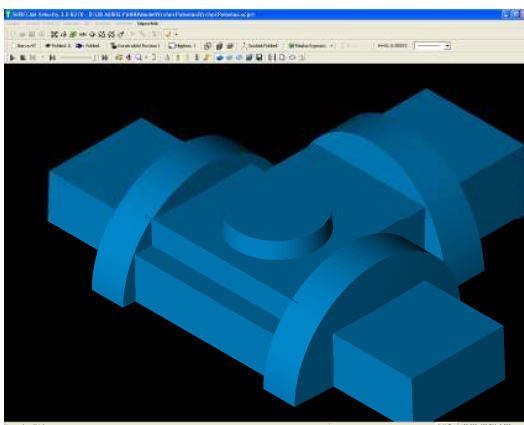
$z_n = 1$ efektivní zub

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 7640 \cdot 0,2 \cdot 1 = 1528 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.2)$$

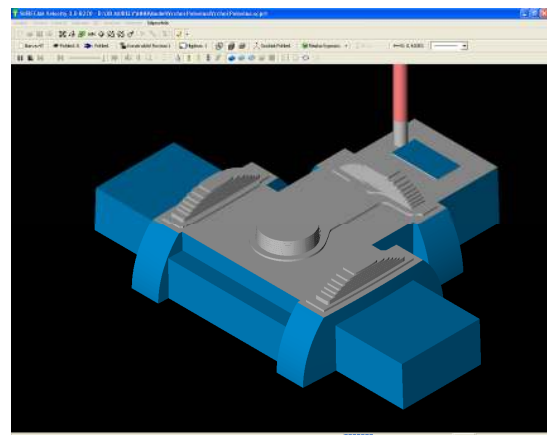
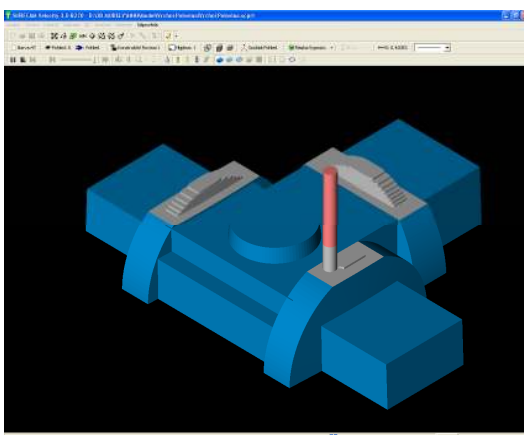
4.3.2 Verifikace pro hrubování

Verifikace obráběcího procesu pro hrubovací cyklus slouží jako kontrola ještě před samotným vygenerováním programu. Provede kontrolu drah nástroje jestli je polotovar obráběn podle zadaných parametrů a aby nedošlo k poškození nástroje či obrobku.

- Postup obrábění hrubovacího nástroje

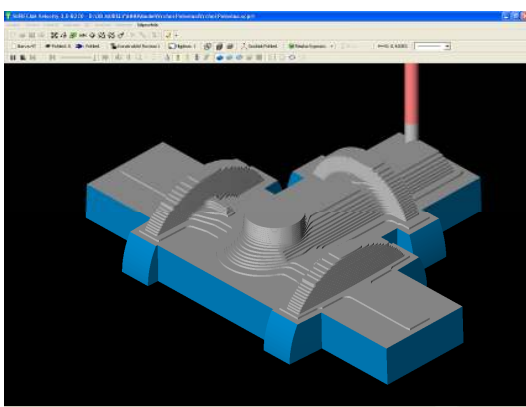


Obr. 4.10 Načtení polotovaru ve formátu.STL Obr. 4.11 Volba barvy hladiny nástroje

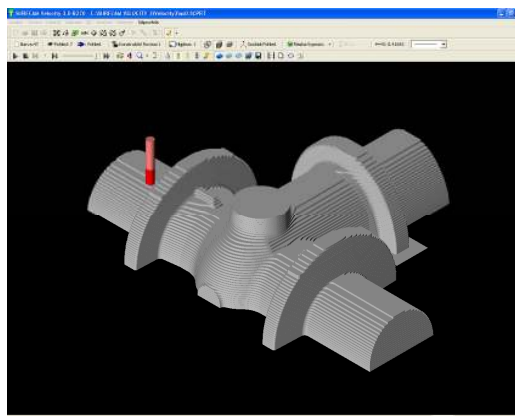


Obr. 4.12 Začátek hrubování polotovaru

Obr. 4.13 Průběh hrubování polotovaru



Obr. 4.14 Průběh hrubování polotovaru



Obr. 4.15 Konec hrubování

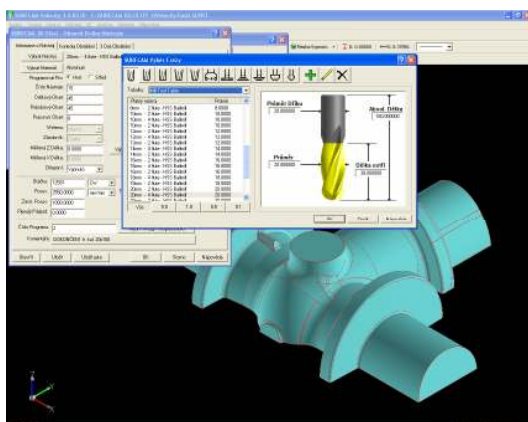
4.4 3D Offset

3D Offset (3D Ofset) dokončování je dostupné pouze s volbou 3-Axis Plus. Operace 3D Offset využívá 2D nebo 3D hranice a vytváří soustředné ofsetové přejezdy obrábění. Tvar obráběcích přejezdů odpovídá tvaru vnější kontury dílu. Operace 3D Offset odměří krok Increment (Přírůstek) třírozměrně na vybrané plochy. (2)

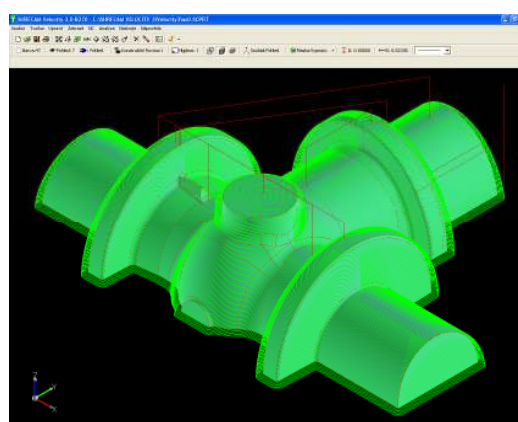
Některé výhody 3D Offset dokončování.

- Dráha nástroje udržuje konstantní R_a pro konzistentní dokončení.
- Nástroj může obrábět sousledně, nebo nesousledně celou dráhu.
- Stálý záběr nástroje s max. posuvy a otáčkami.
- Obrábění z vnějšku dovnitř, nebo z vnitřku ven. (2)

Při obrábění dřeva dokončovací strategií 3D Offset je vhodné použít sousledné frézování, docílíme tím kvalitnějšího povrchu obráběného materiálu.



Obr. 4.16 Volba 3D Offset



Obr. 4.17 Výpočet drah 3D Offset

4.4.1 Volba nástroje a řezné podmínky


Systém hlav k našroubování NOVEX: kulová fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy Walter je vhodná na předdokončovací a dokončovací operace díky pozitivním, částečně spirálovitým úhlům čela u destičky. Je vhodná pro obrábění tvrdých materiálů (65 HRC), ale také měkkých materiálů slitiny hliníku, atd. . Plnopříměrová fréza $Z=2$, ideální pro 3D a HSC frézování, vysoká tvarová přesnost. (10)

Výhody:

- Při sestavování nástrojů s využitím velkého počtu různých upínačů, nástavců a adaptérů.
- Krátký kužel NCT zaručuje vysokou reprodukovatelnost a přesný kruhový pohyb bez házení díky radiálnímu předpětí pomocí krátkého kužele a rovinného uložení.
- Snadno proveditelná výměna hlav ve stroji bez nového vyměřování.
- Díky kompaktnímu rozhraní lze konstruovat nástroje s velmi krátkým vyložením. Z toho vyplývá maximální stabilita nástrojů při obrábění bez vybrací. (10)

Pro operaci 3D Offset - nástroj kulová fréza o průměru $D_C = 20$ mm, celkové délky $L_1 = 210$ mm.

- Volba nástroje



Nástroj	Označení	D_C mm	d_1 mm	X_1 mm	Z	κ_r	Počet	VBD
	F 2139.T09.008.Z02.04-TTB	8	9,7	20	2	0,1	1	P 32...-D 08
	F 2139.T09.010.Z02.05-TTB	10	9,7	25	2	0,1	1	P 32...-D 10
	F 2139.T09.012.Z02.06-TTB	12	9,7	25	2	0,1	1	P 32...-D 12
	F 2139.T14.012.Z02.06-TTB	12	14,5	25	2	0,1	1	P 32...-D 12
	F 2139.T14.016.Z02.08-TTB	16	14,5	25	2	0,1	1	P 32...-D 16
	F 2139.T18.020.Z02.10-TTB	20	18,5	30	2	0,1	1	P 32...-D 20
	F 2139.T22.025.Z02.12-TTB	25	22	35	2	0,1	1	P 32...-D 25
	F 2139.T28.030.Z02.15-TTB	30	28	40	2	0,2	1	P 32...-D 30
	F 2139.T28.032.Z02.16-TTB	32	28	40	2	0,2	1	P 32...-D 32

Obr. 4.18 Nástroj dokončovací kopírovací frézy (10)

- Označení nástroje: **F 2139.T18.020.Z02.10-TTB**

- Volba upínače nástrojů



Upínače nástrojů

AK 510

se šroubovacím systémem
Válcová stopka DIN 1835, tvar A

Nástroj	Označení	D ₁ h5 mm	d ₁ mm	X ₁ min mm	X ₁ max mm	L mm	Provedení	kg
Provedení A	AK 510.Z10.T09.030-TTB	10	9,7	10	30	70	A	0,1
	AK 510.Z10.T09.060-TTB	10	9,7	20	60	100	A	0,1
	AK 510.Z12.T09.060-TTB	12	9,7	20	60	105	A	0,1
	AK 510.Z16.T09.080-TTB	16	9,7	40	90	140	A	0,1
	AK 510.Z16.T14.050-TTB	16	14,5	45	50	100	A	0,1
	AK 510.Z16.T14.110-TTB	16	14,5	45	110	160	A	0,2
Provedení B	AK 510.Z20.T14.108-TTB	20	14,5	52	108	160	B	0,4
	AK 510.Z25.T14.152-TTB	25	14,5	100	152	210	B	0,7
	AK 510.Z20.T18.068-TTB	20	18,5	50	88	120	A	0,3
	AK 510.Z20.T18.128-TTB	20	18,5	50	128	180	A	0,4
	AK 510.Z25.T18.122-TTB	25	18,5	62	122	180	B	0,6
	AK 510.Z32.T18.178-TTB	32	18,5	128	178	240	B	1,2
Provedení C	AK 510.Z25.T22.072-TTB	25	22	55	72	130	A	0,4
	AK 510.Z25.T22.142-TTB	25	22	55	142	200	A	0,7
	AK 510.Z32.T22.138-TTB	32	22	95	138	200	B	1,1
	AK 510.Z40.T22.228-TTB	40	22	172	228	300	B	2,3
	AK 510.Z25.T28.072-TTB	25	28	55	72	130	C	0,5
	AK 510.Z25.T28.142-TTB	25	28	55	142	200	C	0,8
Provedení D	AK 510.Z32.T28.138-TTB	32	28	40	138	200	B	1,2
	AK 510.Z40.T28.228-TTB	40	28	115	228	300	B	2,6
	AK 510.Z32.T36.090-TTB	32	36	60	90	150	C	0,8
	AK 510.Z32.T36.140-TTB	32	36	60	140	200	C	1,1
	AK 510.Z40.T36.130-TTB	40	36	60	130	200	A	1,6
	AK 510.Z40.T36.230-TTB	40	36	100	230	300	A	2,5
Provedení E	AK 510.Z40.T45.080-TTB	40	45	60	80	150	C	1,4
	AK 510.Z40.T45.230-TTB	40	45	100	230	300	C	2,9

Obr. 4.19 Upínač nástrojů se šroubovacím systémem, válcová stopka DIN 1835, tvar A (10)

- Označení upínače: **AK 510.Z20.T18.128-TT**

- Volba vyměnitelné břitové destičky

Dokončovací kopírovací frézy NOVEX® F 2139									
WALTER COLOR SELECT HSC									
Vyměnitelné břitové destičky									
Označení	D _C +0 -0,03 mm	WAP 25	WAP 35	WPT 35	WPT 45	WXP 35	WXP 45	WXP 15	WXP 15
P 3201 – D 08	8	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 10	10	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 12	12	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 16	16	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 20	20	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 25	25	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 30	30	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 32	32	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3201 – D 08	8								Δ Δ
P 3201 – D 10	10								Δ Δ
P 3201 – D 12	12								Δ Δ
P 3201 – D 16	16								Δ Δ
P 3201 – D 20	20								Δ Δ
P 3204 – D 08	8	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 10	10	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 12	12	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 16	16	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 20	20	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 25	25	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 30	30	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
P 3204 – D 32	32	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

Obr. 4.20 Vyměnitelné břitové destičky (10)

- Označení vyměnitelné břitové destičky: **P 3201 – D20 WK 10**

Pozn. Katalog Walter pro frézování uvádí označení WK 10 pro vyměnitelné břitové destičky jako velmi dobré podmínky obrábění pro N – nekovové materiály. (10)

Řezné podmínky pro obrábění nekovových materiálů podle katalogu od firmy Walter viz. Obr. 4.9. (10)

Řezné podmínky pro dokončení viz.(Obr. 4.9) :

- řezná rychlost $v_C = 250$ až 4000 m.min^{-1}
- posuv na zub $f_Z = 0,08$ až $1,0 \text{ mm}$ (10)



Obr. 4.21 Data pro výpočet řezných údajů pro kopírovací frézu (5)

- Výpočet otáček:

$$v_C = 300 \text{ m.min}^{-1}$$

$$D_C = 20 \text{ mm}$$

$$D_w = 7,59 \text{ mm}$$

$$a_p = 0,75 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_C \cdot 1000}{\pi \cdot D_w} = \frac{300 \cdot 1000}{\pi \cdot 7,59} = 12581,42 \text{ min}^{-1} \approx 12581 \text{ min}^{-1} \quad (4.3)$$

- Efektivní průměr nástroje (Účinný průměr):

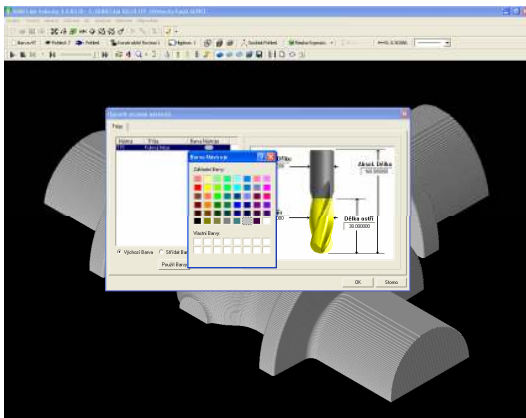
$$D_w = 2 \cdot \sqrt{a_p \cdot (D - a_p)} = 2 \cdot \sqrt{0,75 \cdot (20 - 0,75)} = 7,59 \text{ mm} \quad (4.4)$$

- Výpočet rychlosti posuvu:

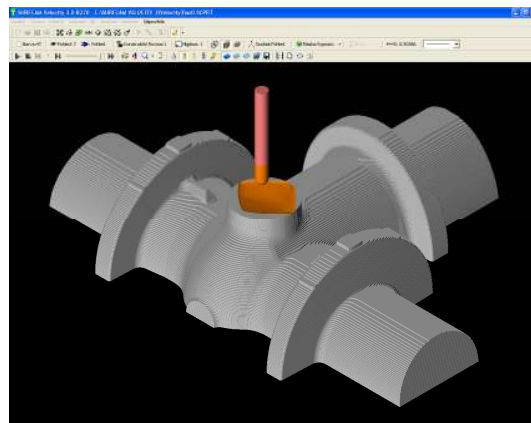
$$v_f = n \cdot f_Z \cdot z_n = 12750 \cdot 0,12 = 2550 \text{ mm.min}^{-1} \quad (4.5)$$

4.4.2 Verifikace pro dokončení

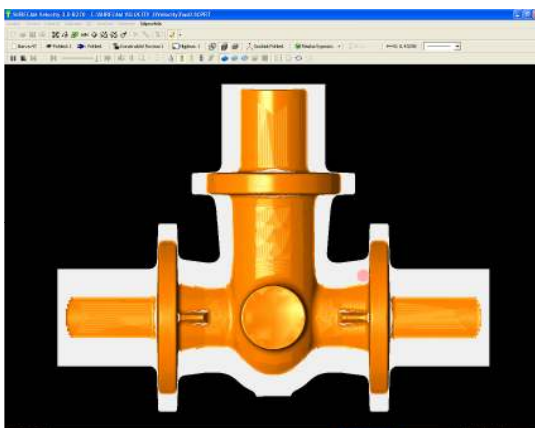
Provede se načtení hrubovaného modelu a v jiné barvě hladiny se provede kontrola dokončovacího cyklu.



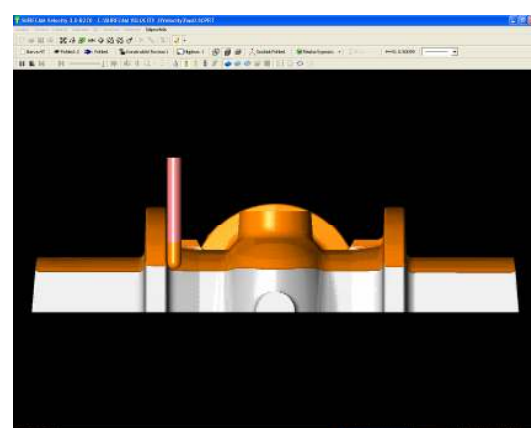
Obr. 4.22 Načtení modelu a volba barvy hladiny dokončujícího cyklu.



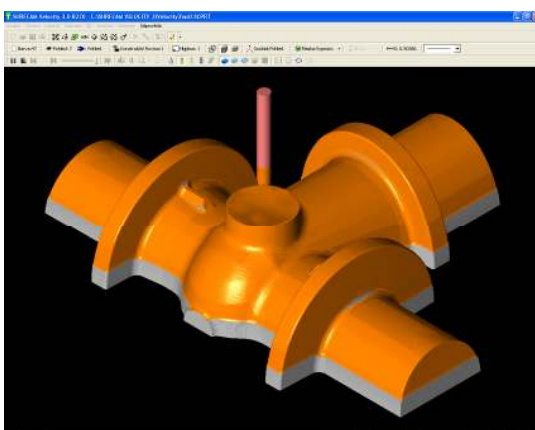
Obr. 4.23 Začátek 3D Offset



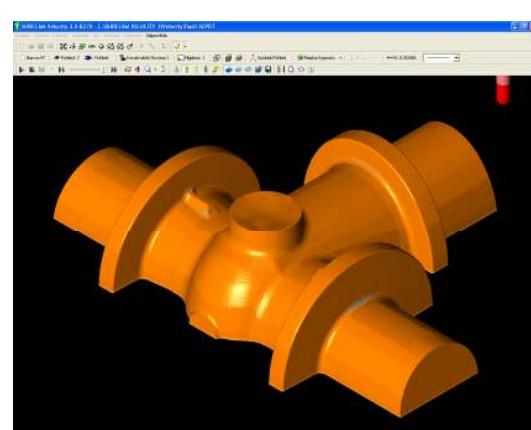
Obr. 4.24 Průběh frézování 3D Offset



Obr. 4.25 Průběh frézování 3D Offset



Obr. 4.26 Průběh frézování 3D Offset



Obr. 4.27 Dokončení frézování 3D Offset

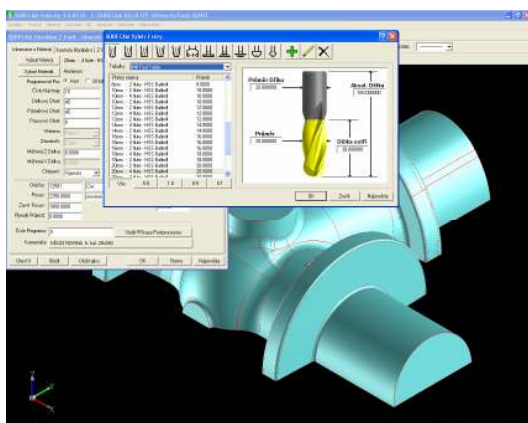
4.5 Z Finish

Z Finish (Z Finiš) hladinové obrábění libovolného počtu ploch. Omezení obrábění pomocí libovolného počtu uzavřených křivek. Určení výškových segmentů pro obrobení (max. výška - min. výška). (2)

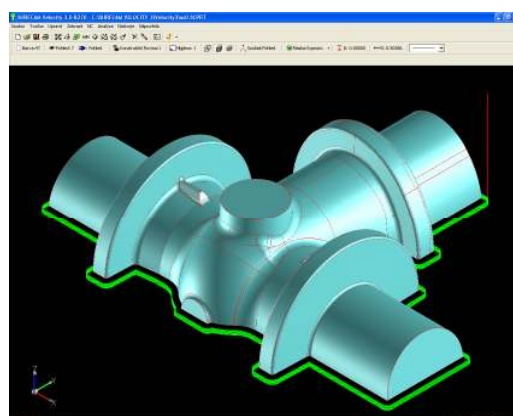
Frézováním Z Finish je dokončena dělicí rovina modelu. Předchozí frézovací cyklus 3D Offset zanechává zbytek materiálu v dělicí rovině a je nutné tento materiál odstranit, aby obě poloviny modelu na sebe přesně pasovaly.

Pro dokončení dělicí roviny je použit stejný frézovací nástroj a také stejné řezné podmínky jako u operace 3D Offset.

Pro operaci Z Finish - nástroj kulová fréza o průměru $D_C = 20$ mm, celkové délky $L_1 = 210$ mm.



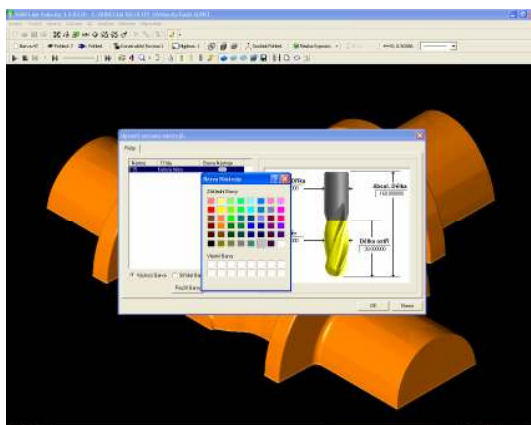
Obr. 4.28 Volba Z Finish



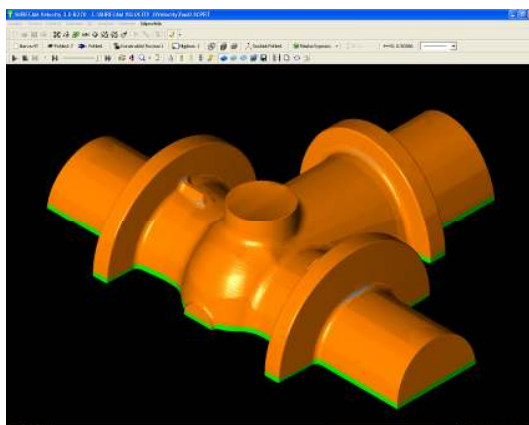
Obr. 4.29 Výpočet drah nástroje Z Finish

4.5.1 Verifikace pro dělicí rovinu

Zvolí se jiná barva hladiny pro frézovací nástroj, aby bylo možné zkontrolovat dráhu nástroje a povrch modelu, jestli přesně kopíruje daný tvar obráběného modelu.



Obr. 4.30 Volba barvy hladiny nástroje



Obr. 4.31 Dráha nástroje Z Finish

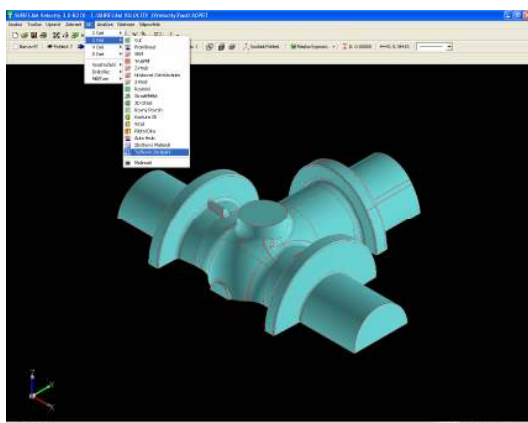
4.6 Pencil Cut

Pencil Cut (Tužkové Obrábění) odstraňuje materiál, který je ponechán jinými obráběcími operacemi podél průsečíků dvou ploch, nebo materiál podél záhybů, které mohou být uvnitř jedné plochy. (2)

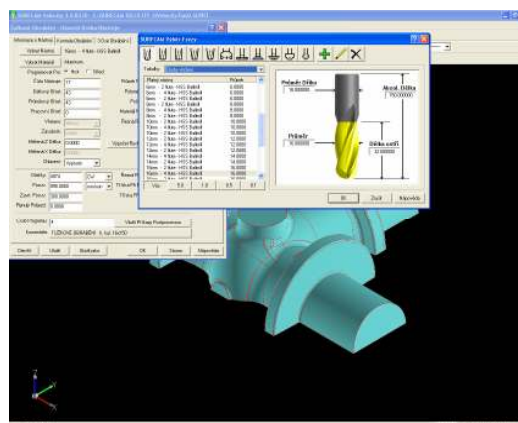
SURFCAM počítá "tužkové křivky" podél neobrobených oblastí. Tužkové křivky jsou podobné jako spline křivky průsečíku nástroje, které jsou vytvořeny s menu Create (Tvorba) > Spline. Pro výpočet tužkové křivky mezi dvěma plochami je nejprve vypočítán ofset od každé plochy. Křivka, která je vytvořena na průsečíku těchto ofsetových ploch, se stává tužkovou křivkou. Tyto ofsetové plochy jsou určeny s Tool Diameter (Poloměr Nástroje) a Tip Radius (Poloměr Hrotu) nástroje vybraného k použití pro provedení obrábění. Pokud je nástroj se zaoblením, Ofsetové plochy jsou ty, které by byly provedeny středem nástroje se zaoblením. Výsledná tužková křivka by měla být křivka provedená středem zaoblení tak, že by byla valena podél průsečíku dvou ploch. (Ve vnitřní straně samostatné plochy jsou tužkové křivky vytvořeny v těchto oblastech, které jsou tak konkávní, že se fréza se zaoblením může dotýkat ve dvou pozicích najednou.) Podobnými, ale více komplexními způsoby jsou ofsetové plochy vytvořeny pro frézu se zaoblením a konečný frézovací nástroj. Dráha nástroje Pencil Cut (Tužkové Obrábění) se skládá ze samostatného přejetí nástroje podél dráhy, která je vedena každou z těchto tužkových křivek. Obvykle za účelem pro operaci k odstranění materiálu Pencil Cut (Tužkové Obrábění), musí být nástroj vybrán s tím, že má poloměr menší než používaný nástroj v předcházející operaci. (2)

Použitím operace Pencil Cut je dosaženo tvarů a rozměrů radiusů na modelu. Frézovací nástroje se řadí po sobě tak, aby bylo možné dosáhnout rozměrů radiusů dané technologickým výkresem, např.: ($\varnothing 16$, $\varnothing 12$, $\varnothing 10$, $\varnothing 8$). Opět se musí dbát na přesné vyložení nástroje z upínacího trnu, aby nedošlo ke kolizi při obrábění modelu. Vyložení nástroje se odměřuje v systému SURFCAM nebo z výkresu.

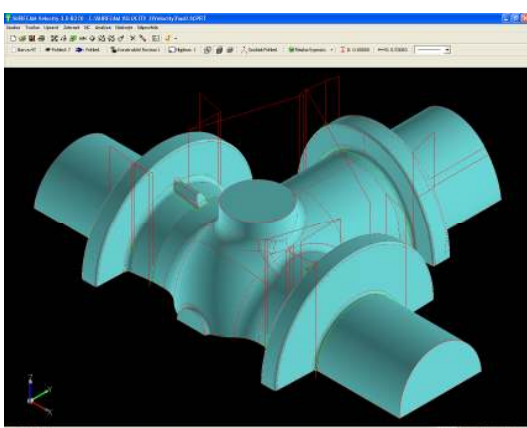
Na dokončení modelu Tužkovým Obráběním je použito čtyř nástrojů, které mají různé řezné podmínky. Tyto řezné podmínky jsou speciálně navoleny na a odladěny na stroji podle otáček nástroje a posuvu obráběného materiálu, čímž se zamezí rozechvení frézovacího nástroje a povrch modelu nebude poškozen.



Obr. 4.32 Zvolení Tužkového Obrábění



Obr. 4.33 Volba nástroje Pencil Cut



Obr. 4.34 Vypočtené dráhy nástroje

4.6.1 Volba nástroje a řezné podmínky


Systém hlav k našroubování NOVEX: kulová fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy Walter je vhodná na předdokončovací a dokončovací operace díky pozitivním, částečně spirálovitým úhlům čela u destičky. Je vhodná pro obrábění tvrdých materiálů (65 HRC), ale také měkkých materiálů slitiny hliníku, atd. Plnopříměrová fréza $Z=2$, ideální pro 3D a HSC frézování, vysoká tvarová přesnost. (10)

Pro operaci Pencil Cut - nástroje kulová fréza o průměru:

- $D_C = 16 \text{ mm}$, celkové délky $L_1 = 185 \text{ mm}$ (Novex)
- $D_C = 12 \text{ mm}$, celkové délky $L_1 = 150 \text{ mm}$ (Novex)
- $D_C = 10 \text{ mm}$, celkové délky $L_1 = 150 \text{ mm}$ (Garant)
- $D_C = 8 \text{ mm}$, celkové délky $L_1 = 150 \text{ mm}$ (Garant)

- $D_C = 16 \text{ mm}$, $L_1 = 185 \text{ mm}$

- Volba nástroje



Nástroj	Označení	D_C mm	d_1 mm	X_1 mm	Z	$\frac{kg}{mm^3}$	Počet	VBD
	F 2139.T09.008.Z02.04-TTB	8	9,7	20	2	0,1	1	P 32 ... - D 08
	F 2139.T09.010.Z02.05-TTB	10	9,7	25	2	0,1	1	P 32 ... - D 10
	F 2139.T09.012.Z02.06-TTB	12	9,7	25	2	0,1	1	P 32 ... - D 12
	F 2139.T14.012.Z02.06-TTB	12	14,5	25	2	0,1	1	P 32 ... - D 12
	F 2139.T14.016.Z02.08-TTB	16	14,5	25	2	0,1	1	P 32 ... - D 16
	F 2139.T18.020.Z02.10-TTB	20	18,5	30	2	0,1	1	P 32 ... - D 20
	F 2139.T22.025.Z02.12-TTB	25	22	35	2	0,1	1	P 32 ... - D 25
	F 2139.T28.030.Z02.15-TTB	30	28	40	2	0,2	1	P 32 ... - D 30
	F 2139.T28.032.Z02.16-TTB	32	28	40	2	0,2	1	P 32 ... - D 32

Obr. 4.35 Nástroj dokončovací kopírovací frézy pro Tužkové Obrábění (10)

- Označení nástroje: **F 2139.T14.016.Z02.08-TTB**

- Volba upínače nástrojů



Upínače nástrojů

AK 510

se šroubovacím systémem

Válcová stopka DIN 1835, tvar A



Nástroj	Označení	D ₁ H6 mm	d ₁ mm	X ₁ min mm	X ₁ max mm	L mm	Provedení	k _g
Provedení A	AK 510.Z10.T09.030-TTB	10	9,7	10	30	70	A	0,1
	AK 510.Z10.T09.060-TTB	10	9,7	20	60	100	A	0,1
	AK 510.Z12.T09.060-TTB	12	9,7	20	60	105	A	0,1
	AK 510.Z16.T09.090-TTB	16	9,7	40	90	140	A	0,1
	AK 510.Z16.T14.050-TTB	16	14,5	45	50	100	A	0,1
Provedení B	AK 510.Z16.T14.110-TTB	16	14,5	45	110	160	A	0,2
	AK 510.Z20.T14.108-TTB	20	14,5	52	108	160	B	0,4
	AK 510.Z25.T14.152-TTB	25	14,5	100	152	210	B	0,7
	AK 510.Z20.T18.068-TTB	20	18,5	50	68	120	A	0,3
	AK 510.Z20.T18.128-TTB	20	18,5	50	128	180	A	0,4
	AK 510.Z25.T18.122-TTB	25	18,5	62	122	180	B	0,6
	AK 510.Z32.T18.178-TTB	32	18,5	128	178	240	B	1,2
	AK 510.Z25.T22.072-TTB	25	22	55	72	130	A	0,4
	AK 510.Z25.T22.142-TTB	25	22	55	142	200	A	0,7
	AK 510.Z32.T22.138-TTB	32	22	95	138	200	B	1,1
Provedení C	AK 510.Z40.T22.228-TTB	40	22	172	228	300	B	2,3
	AK 510.Z25.T28.072-TTB	25	28	55	72	130	C	0,5
	AK 510.Z25.T28.142-TTB	25	28	55	142	200	C	0,8
	AK 510.Z32.T28.138-TTB	32	28	40	138	200	B	1,2
	AK 510.Z40.T28.228-TTB	40	28	115	228	300	B	2,6
	AK 510.Z32.T36.090-TTB	32	36	60	90	150	C	0,8
	AK 510.Z32.T36.140-TTB	32	36	60	140	200	C	1,1
	AK 510.Z40.T36.130-TTB	40	36	60	130	200	A	1,6
	AK 510.Z40.T36.230-TTB	40	36	100	230	300	A	2,5
	AK 510.Z40.T45.080-TTB	40	45	60	80	150	C	1,4
	AK 510.Z40.T45.230-TTB	40	45	100	230	300	C	2,9

Obr. 4.36 Upínač nástrojů se šroubovacím systémem, válcová stopka DIN 1835, tvar A (10)

- Označení upínače: **AK 510.Z16.T14.110-TTB**

- Volba vyměnitelné břitové destičky

Dokončovací kopírovací frézy NOVEX® F 2139											
WALTER COLOR SELECT											
HSC											
Vyměnitelné břitové destičky											
Označení	D _c +0 -0,03 mm	COLOR SELECT									
		WAP 25	WAP 35	WTP 35	WXP 45	WXM 35	WAK 15	WAK 25	WXM 15	WK 10	HW
										WPM	HF
											BH
P 3201 – D 08	8	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 10	10	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 12	12	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 16	16	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 20	20	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 25	25	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 30	30	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 32	32	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3201 – D 08	8										Δ
P 3201 – D 10	10										Δ
P 3201 – D 12	12										Δ
P 3201 – D 16	16										Δ
P 3201 – D 20	20										Δ
P 3204 – D 08	8	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 10	10	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 12	12	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 16	16	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 20	20	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 25	25	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 30	30	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
P 3204 – D 32	32	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		

Obr. 4.37 Vyměnitelné břitové destičky (10)

- Označení vyměnitelné břitové destičky: **P 3201 – D16 WK 10**

Pozn. Katalog Walter pro frézování uvádí označení WK 10 pro vyměnitelné břitové destičky jako velmi dobré podmínky obrábění pro N – nekovové materiály. (10)

Řezné podmínky pro obrábění nekovových materiálů podle katalogu od firmy Walter viz. Obr. 4.9. (10)

Řezné podmínky pro dokončení viz.(Obr. 4.9):

- řezná rychlost $v_c = 250$ až 4000 m.min^{-1}
- posuv na zub $f_z = 0,08$ až $1,0 \text{ mm}$ (10)

- Výpočet otáček:

$$v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$$

$$D_c = 16 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} = \frac{250 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} = 4974 \text{ min}^{-1} \quad (4.6)$$

- Výpočet rychlosti posuvu:

$$f_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$z_n = 2 \text{ efektivní zub}$$

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 4974 \cdot 0,1 \cdot 2 = 995 \text{ mm.min}^{-1} \quad (4.7)$$

b) $D_c = 12 \text{ mm}$, $L_1 = 150 \text{ mm}$ (Walter)

Frézy ze slinutého karbidu

F 1825 R

Extra dlouhé provedení

F 1845 R

Nástroj

BN = kubický bornitrid

HC = povlakované druhy

HW = nepovlakované druhy

	Označení	D _c mm	d ₁ mm	X ₀ mm	L _c mm	Z	Spirál. úhel		BN WCB 50	1HC WCB 80	HW WXX 15 WXX 25 WXX 30
2 zuby do středu	F 1825R.Z.03.Z2.20.30.W	3	3	75	20	2	30°	0,01			Δ
	F 1825R.Z.04.Z2.25.30.W	4	4	75	25	2	30°	0,01			Δ
	F 1825R.Z.05.Z2.30.30.W	5	5	75	30	2	30°	0,02			Δ
	F 1825R.Z.06.Z2.30.30.W	6	6	75	30	2	30°	0,03			Δ
	F 1825R.Z.08.Z2.40.30.W	8	8	100	40	2	30°	0,07			Δ
	F 1825R.Z.10.Z2.40.30.W	10	10	100	40	2	30°	0,11			Δ
	F 1825R.Z.12.Z2.45.30.W	12	12	150	45	2	30°	0,24			Δ
2 zuby do středu	F 1845R.Z.03.Z4.20.30.W	3	3	75	20	4	30°	0,01			Δ
	F 1845R.Z.04.Z4.25.30.W	4	4	75	25	4	30°	0,01			Δ
	F 1845R.Z.05.Z4.30.30.W	5	5	75	30	4	30°	0,02			Δ
	F 1845R.Z.06.Z4.30.30.W	6	6	75	30	4	30°	0,03			Δ
	F 1845R.Z.08.Z4.40.30.W	8	8	100	40	4	30°	0,07			Δ
	F 1845R.Z.10.Z4.40.30.W	10	10	100	40	4	30°	0,11			Δ
	F 1845R.Z.12.Z4.45.30.W	12	12	150	45	4	30°	0,24			Δ

Obr. 4.38 Frézovací nástroj $\varnothing 12 \text{ mm}$ pro Tužkové Obrábění (10)

- Označení nástroje: **F 1845R.Z.12.Z4.45.30.W**

Řezné podmínky pro obrábění nekovových materiálů podle katalogu od firmy Walter viz. Obr. 4.9. (10)

Řezné podmínky pro dokončení viz.(Obr. 4.9):

- řezná rychlost $v_c = 250$ až 4000 m.min^{-1}
- posuv na zub $f_z = 0,08$ až $1,0 \text{ mm}$ (10)

- Výpočet otáček:

$$v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$$

$$D_c = 12 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} = \frac{250 \cdot 1000}{\pi \cdot 12} = 6632 \text{ min}^{-1} \quad (4.8)$$

- Výpočet rychlosti posuvu:





$$f_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$z_n = 4 \text{ efektivní zub}$$


$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 6632 \cdot 0,1 \cdot 4 = 2653 \text{ mm.min}^{-1} \quad (4.9)$$

c) $D_c = 10 \text{ mm}$, $L_1 = 150 \text{ mm}$ (Garant)

Garant TK radiusová fréza

Universal TK  Typ W Z 2   

Provedení: Světlý povlak **TIAlN**, speciální pro hliník, Geometrie čalích břitů pro zanořování do materiálu.



Řezné podmínky pro obrábění nekovových materiálů podle katalogu od firmy Walter viz. Obr. 4.9. (10)

Řezné podmínky pro dokončení viz.(Obr. 4.9):

- řezná rychlost $v_c = 250$ až 4000 m.min^{-1}
- posuv na zub $f_z = 0,08$ až $1,0 \text{ mm}$ (10)

- Výpočet otáček:

$$v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$$

$$D_c = 10 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{250 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 7958 \text{ min}^{-1} \quad (4.10)$$

- Výpočet rychlosti posuvu:

$$f_z = 0,1 \text{ mm}$$

$$z_n = 2 \text{ efektivní zub}$$

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 7958 \cdot 0,1 \cdot 2 = 1592 \text{ mm.min}^{-1} \quad (4.11)$$

d) $D_c = 8 \text{ mm}$, $L_1 = 150 \text{ mm}$ (Garant)

- Označení nástroje: **20 7090 DIN 6535 HA**

Řezné podmínky pro obrábění nekovových materiálů podle katalogu od firmy Walter viz. Obr. 4.9. (10)

Řezné podmínky pro dokončení viz.(Obr. 4.9):

- řezná rychlost $v_c = 250$ až 4000 m.min^{-1}
- posuv na zub $f_z = 0,08$ až $1,0 \text{ mm}$ (10)

- Výpočet otáček:

$$v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$$

$$D_c = 8 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{250 \cdot 1000}{\pi \cdot 8} = 9948 \text{ min}^{-1} \quad (4.12)$$

- Výpočet rychlosti posuvu:

$$f_z = 0,1 \text{ mm}$$

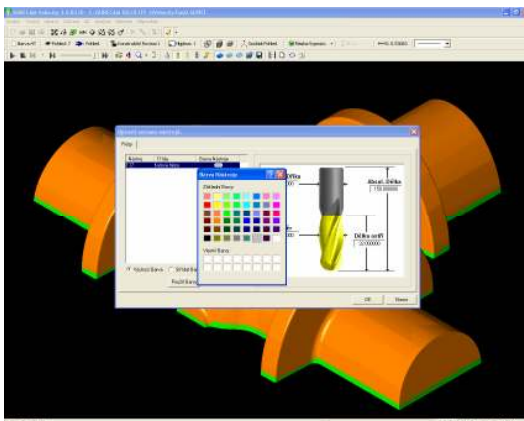
$$z_n = 2 \text{ efektivní zub}$$

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_n = 9948 \cdot 0,1 \cdot 2 = 1990 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.13)$$

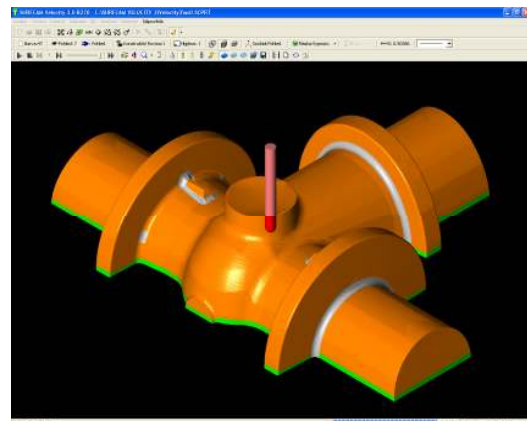
4.6.2 Verifikace pro Pencil Cut

Verifikace Pencil Cut je pro čtyři nástroje ($\varnothing 16$, $\varnothing 12$, $\varnothing 10$, $\varnothing 8$). Navolí se jiné barvy hladin, pro kontrolu drah frézovacích nástrojů.

a) pro nástroj $\varnothing 16$

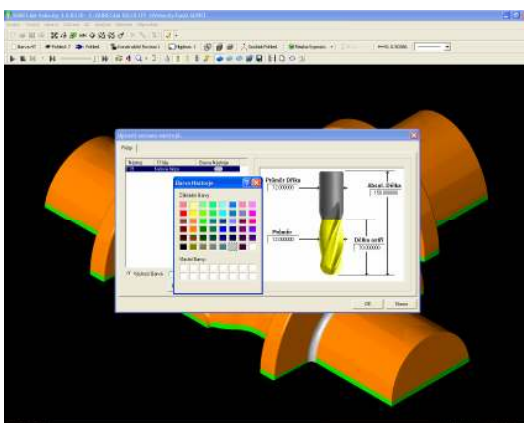


Obr. 4.40 Volba barvy hladiny nástroje

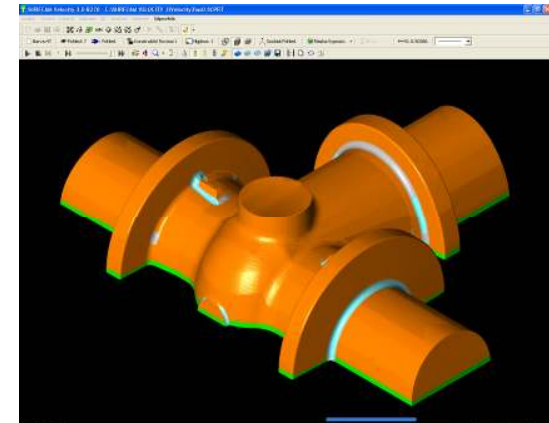


Obr. 4.41 Dráha nástroje

b) pro nástroj $\varnothing 12$

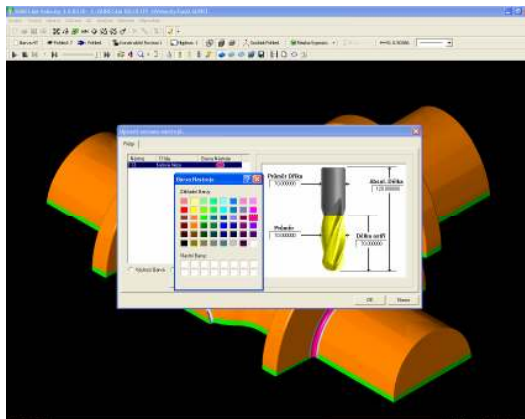


Obr. 4.42 Volba barvy hladiny nástroje

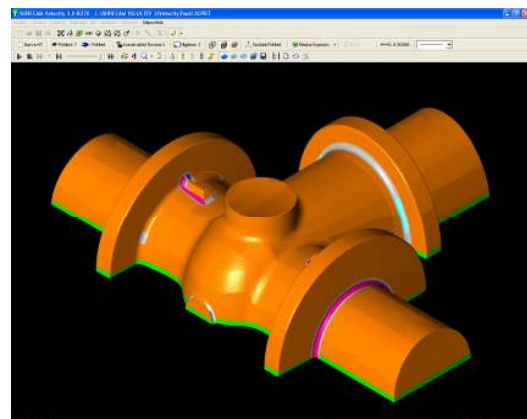


Obr. 4.43 Dráha nástroje

c) pro nástroj $\varnothing 10$

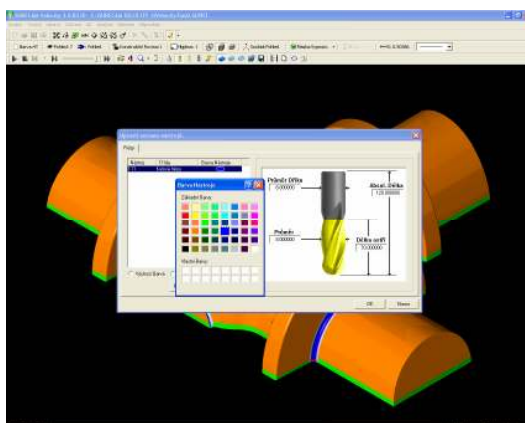


Obr. 4.44 Volba barvy hladiny nástroje

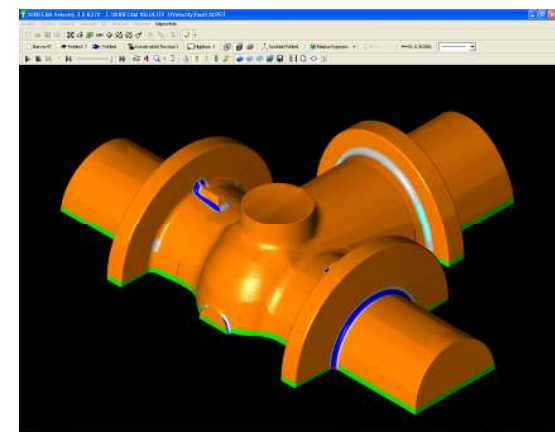


Obr. 4.45 Dráha nástroje

d) pro nástroj $\varnothing 8$



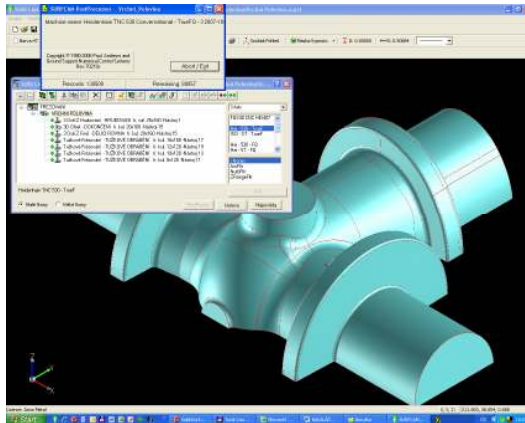
Obr. 4.46 Volba barvy hladiny nástroje



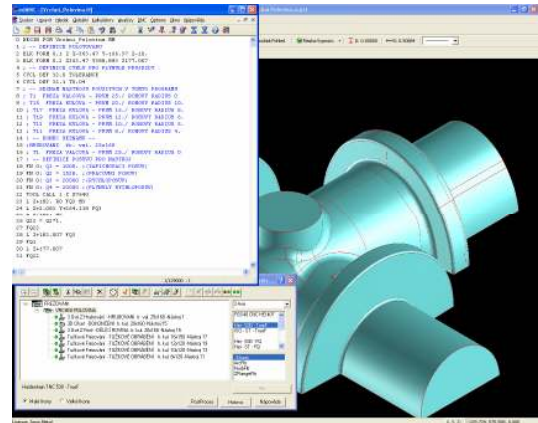
Obr. 4.47 Dráha nástroje

4.7 Generování programu

Po kompletní kontrole drah frézovacích nástrojů Verifikací je dalším krokem vygenerování programu (postprocessing). Pro obráběcí centrum MCV 1210 se systémem Heidenhain iTNC 530 jsou všechny frézovací nástroje vygenerovány do jednoho programu.



Obr. 4.48 Výběr postprocesoru a generování programu



Obr. 4.49 Vygenerovaný program

Po vygenerování programu se zkontroluje jestli jsou nástroje správně zapsány v programu pod označením odpovídající v tabulce nástrojů ve stroji. Pokud vše souhlasí, stačí program uložit do příslušného adresáře a tím práce se systémem SURFCAM končí.

5 STROJ CNC

Vertikální obráběcí centrum MCV 1210 najde široké uplatnění při obrábění složitých prostorových tvarů ve třech nebo v pěti osách. Je určen pro plastikářský, automobilový a letecký průmysl. Vzhledem k vysoké dynamice, velmi vysoké tuhosti a tlumícím vlastnostem konstrukce stroj umožňuje využití výhod HSC technologie. Stroj typu horní gantry má vřeteno uloženo v motorové vřetenové jednotce zabudované ve smykadle. Vřetenová jednotka je vybavena hydraulicky nebo pneumaticky ovládaným mechanismem pro upínání a uvolňování nástroje, snímačem otáček a polohy vřetena a rotačním přívodem umožňující přivádění chladicí kapaliny nebo vzduchu osou vřetena. Vřeteno i jeho elektromotor jsou chlazeny chladicí kapalinou ze samostatného chladicího agregátu. Křížový suport se smykadlem se pohybuje v příčném směru (osa X) po příčnku. Příčník se pohybuje po horní straně bočnic, pevně spojených se základnou v podélném směru (osa Y). Smykadlo s vřeteníkem se pohybuje ve svislém směru (osa Z). Pracovní stůl je ve standardním provedení nepohyblivý a odnímatelný, volitelně jej lze nahradit dvouosým sklopným otočným stolem nebo jiným upínacím zařízením. Veškeré pohyby stroje jsou realizovány prostřednictvím lineárního vedení s valivými elementy. Odměřování polohy v osách X, Y, Z je prováděno přímo absolutními lineárními odměřovacími jednotkami. Mazání valivých jednotek lineárního vedení a všech matic kuličkových šroubů je prováděno automaticky tukem z mazacího agregátu. Stroj je vybaven jedním automatickým zásobníkem nástrojů, instalovaným v zadní části stroje. Pracovní prostor je plně zakrytován. Horní přední krytování tvoří samonabíjecí roleta spojená s příčníkem, která po odpojení a po odjetí příčníkem dozadu umožňuje snadné nakládání větších dílců jeřábem shora. K odstraňování třísek vzniklých při obrábění napomáhá centrální článkový dopravník třísek. (9)

VERTIKÁLNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM



Obr. 5.50 Vertikální obráběcí centrum (9)



Obr. 5.51 Obrázek elektrovřeten pro MCV 1210 (9)



Obr. 5.52 Přístup do pracovního prostoru, možnost manipulace s obrobkem pomocí jeřábu (9)



Obr. 5.53 Zakrytý pracovní prostor (9)

TECHNICKÁ DATA		MCV 1210
Stůl		
Pracovní plocha		1 200 x 1 000 mm
Maximální zatížení stolu		3 000 kg
Vzdálenost plocha stolu – čelo vřetena		150 mm
Drážky – velikost, rozteč		18 H8, 100 mm
– počet		10 ks
Max. obráběný rozměr		1 000 x 800 x 700 mm
Rozsah pracovních pojezdů		
Osa X		1 000 mm
Osa Y		800 mm
Osa Z		600 mm
Posuvy v osách X,Y,Z		
Rychloposuv		40 m/min
Pracovní posuv		20 m/min
Max. zrychlení os		5 m/s ²
Vřeteno		elektrovřeteno
Upínací kužel		ISO 40
Maximální otáčky		12 000 min ⁻¹
Maximální výkon		32 kW
Maximální krouticí moment S1-100%, S6-40%		157, 215 Nm
Zásobník nástrojů		
Max. délka nástroje		250 mm
Max. průměr nástroje		80 mm
Max. průměr nástroje s vynecháním místa		115 mm
Max. hmotnost nástroje		6,5 kg
Max. počet nástrojů		30 ks
Čas výměny nástroje (nástroj – nástroj)		3,5 s
Rozměry a hmotnost stroje		
Výška x šířka x délka		3 730 x 2 800 x 3 200 mm
Hmotnost stroje bez volitelného příslušenství		11 500 kg
Řídicí systém		HEIDENHAIN iTNC 530

STANDARDNÍ VYBAVENÍ

Automatické ofukování držáku nástroje
 Tepelná stabilizace vřetena
 Vnější chlazení nástroje
 Dopravník třísek s integrovanou nádrží chladicí kapaliny
 Přímé, lineární odměřování HEIDENHAIN
 Digitální pohony SIEMENS
 Řídicí systém HEIDENHAIN iTNC 530
 Kompletně zakrytý pracovní prostor
 Signalizace ukončení pracovního cyklu

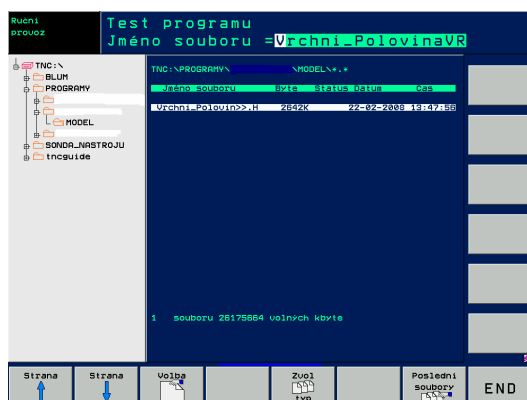
VOLITELNÉ VYBAVENÍ

Chlazení středem vřetena
 Chlazení min. množstvím maziva
 Měřicí sonda nástrojů
 Měřicí sonda obrobků
 Otočný stůl
 Dvouosá CNC hlava

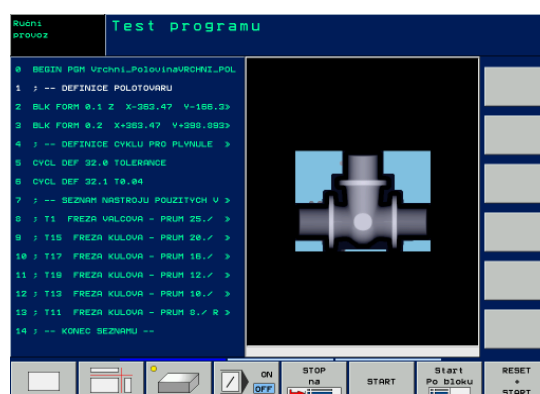
Obr. 5.54 Technická data stroje MCV 1210 (9)

5.1 Provedení simulace na stroji

Provedení simulace na stroji je nezbytně nutnou součástí výrobního procesu ještě před spuštěním samotného obráběcího stroje. Obsluha stroje kontroluje nastavení polotovaru, pořadí frézovacích nástrojů, výšku hladiny rychloposuvů a místo výměny nástroje, aby nedošlo ke kolizi s obrobkem, to by mělo za následek možné poškození nástroje, stroje a nebo vychýlení polotovaru z přesně nastaveného souřadného systému. Po případném zjištění jakéhokoliv nedostatku v programu lze tento problém okamžitě odstranit buď přímo na stroji nebo vygenerováním upraveného programu ze systému SURFCAM.

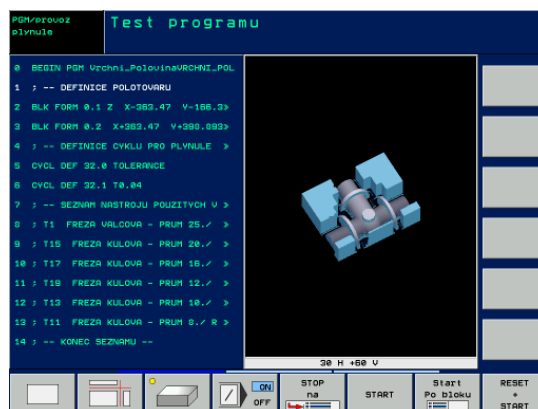


Obr. 5.55 Načtení programu do stroje



Obr. 5.56 Test programu v ručním režimu

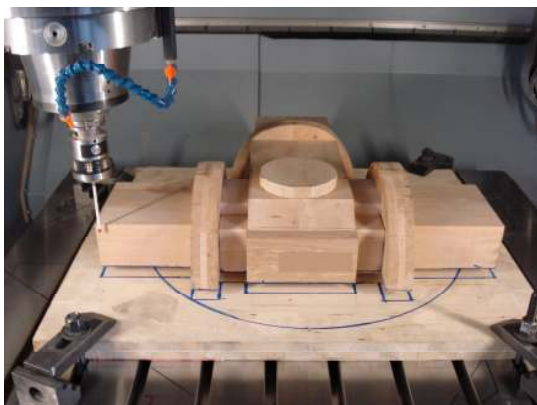
Systém obráběcího stroje definuje polotovar jako kvádr a nikoli jako načtený polotovar v systému SURFCAM. Tento kvádr má maximální možné rozměry pro obráběný model. Ve skutečnosti tyto zbylé části polotovaru jsou jen fiktivní a není nutno s nimi počítat. Po provedení této kontroly je možné spustit obráběcí proces.



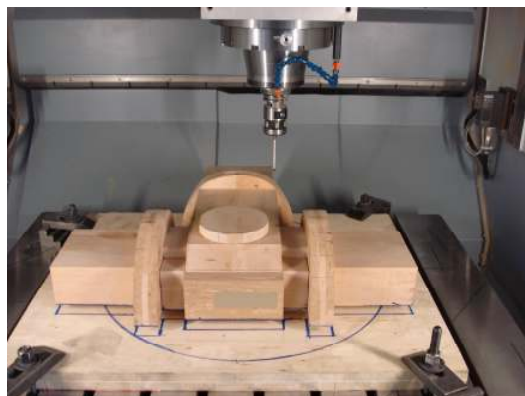
Obr. 5.57 Test programu v ručním režimu zobrazení ve 3D

5.2 Zahájení obrábění na stroji

Pokud je správně nastavený souřadný systém a správně upnutý polotovár na stroji je možné zahájit obrábění.



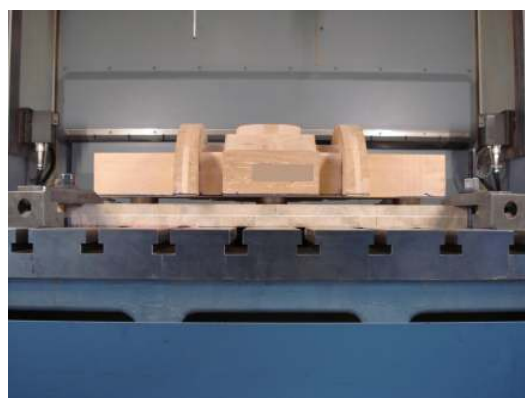
Obr. 5.58 Nastavení osy X měřicí sondou



Obr. 5.59 Nastavení osy Y měřicí sondou



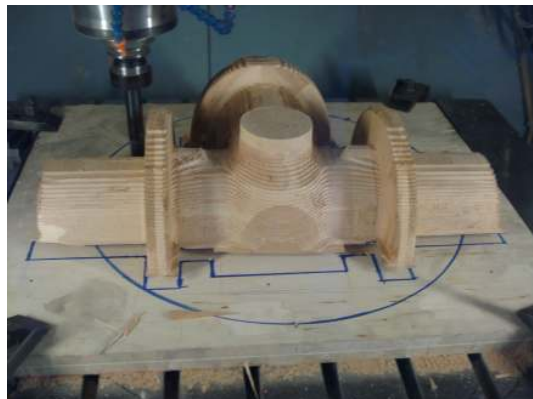
Obr. 5.60 Nastavení osy Z měřicí sondou



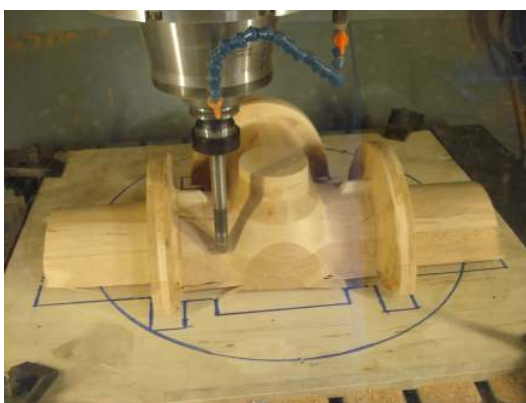
Obr. 5.61 Ukázka podložení polotovaru



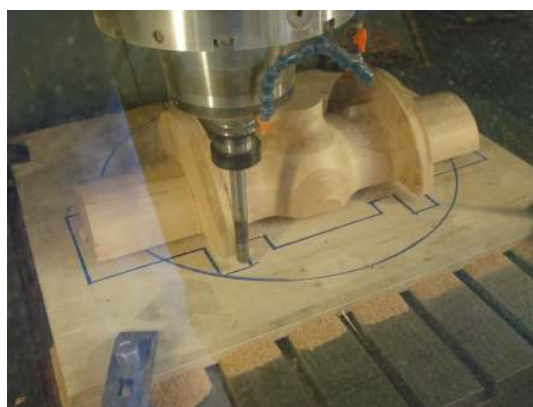
Obr. 5.62 Hrubování modelu Z Rough



Obr. 5.63 Dokončení hrubování Z Rough



Obr. 5.64 Obrábění 3D Offset



Obr. 5.65 Obrábění dělící roviny modelu



Obr. 5.66 Tužkové obrábění



Obr. 5.67 Ukázka zhotovení modelu

ZÁVĚR

Cílem projektu je zhotovení modelového zařízení „Těleso“ s využitím CAD/CAM software SolidWorks a SURFCAM.

Projekt byl zaměřen především na výrobu modelu a jaderník byl jen zmíněn jako součást modelového zařízení. Jaderník slouží pro výrobu jádra, které se zakládá do formy pro vytvoření požadovaného tvaru dutiny a tloušťky stěny odlitku. Postup výroby jaderníku je podobný jako u modelu.

Projekt obsahuje kompletní přípravu modelu v softwaru SolidWorks (technologické přídatky, úkosy, pomocné prvky, atd.) pro obrábění na CNC stroji, který má zaručit rychlou a přesnou výrobu tohoto zařízení. Při konstrukci těchto prvků je nutné postupovat podle výkresu slévárenské technologie (vůle ve známkách, smrštění materiálu, atd.) uvedené v příloze 1. Po kompletní přípravě modelu a jeho polotovaru se dále postupovalo přenosem těchto souborů do systému SURFCAM. V systému SURFCAM byly navrženy obráběcí strategie: Z Rough, 3D Offset, Z Finish a Pencil Cut. U všech obráběcích strategií byla provedena verifikace v systému SURFCAM.

Z Rough – strategie, která odstraňuje velké množství materiálu jako příprava pro další operace. Přídavek pro dokončení byl zvolen 0,750 mm. Obráběcí nástroj od firmy Sumitomo – stopková fréza o průměru $D_C = 25$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_C = 600$ m.min⁻¹, otáčky $n = 7640$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 1528$ mm.min⁻¹.

3D Offset – dokončovací strategie. Obráběcí nástroj byl zvolen od firmy Novex – kulová fréza o průměru $D_C = 20$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_C = 300$ m.min⁻¹, otáčky $n = 12581$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 2550$ mm.min⁻¹.

Z Finish – obrábí vícenásobné plochy strmějšího úhlu. Touto strategií byla dokončena dělicí rovina modelu. Obráběcí nástroj byl zvolen od firmy Novex – kulová fréza o průměru $D_C = 20$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_C = 300$ m.min⁻¹, otáčky $n = 12581$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 2550$ mm.min⁻¹.

Pencil Cut – Tužkové obrábění, odstraňuje materiál, který byl ponechán jinými obráběcími operacemi. Dokončení rádiusů na modelu bylo použito čtyř nástrojů (Ø16, Ø12, Ø10, Ø8), které mají různé řezné podmínky a při samotném obrábění na stroji se tyto vypočtené hodnoty individuálně upravili pro konkrétní nástroj, aby nedocházelo k nežádoucím účinkům.

Obráběcí nástroj pro Ø16 byl zvolen od firmy Novex – kulová fréza o průměru $D_C = 16$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_C = 250$ m.min⁻¹, otáčky $n = 4974$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 995$ mm.min⁻¹.

Obráběcí nástroj pro Ø12 byl zvolen od firmy Walter – kulová fréza o průměru $D_C = 12$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_C = 250$ m.min⁻¹, otáčky $n = 6632$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 2653$ mm.min⁻¹.

Obráběcí nástroj pro $\varnothing 10$ byl zvolen od firmy Garant – kulová fréza o průměru $D_c = 10$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_c = 250$ m.min⁻¹, otáčky $n = 7958$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 1592$ mm.min⁻¹.

Obráběcí nástroj pro $\varnothing 8$ byl zvolen od firmy Garant – kulová fréza o průměru $D_c = 8$ mm, řezné podmínky – řezná rychlost $v_c = 250$ m.min⁻¹, otáčky $n = 9948$ min⁻¹, rychlost posuvu $v_f = 1990$ mm.min⁻¹.

Všechny obráběcí strategie byly vygenerovány do jednoho programu uvedeny v příloze 2 pozn.(pouze v elektronické podobě z důvodů velikosti programu), pro obráběcí centrum MCV 1210 se systémem Heidenhain iTNC 530, na kterém byla provedena simulace a následné obrábění dané součásti.

Jakost povrchu byla přizpůsobena materiálu modelu a požadavkům pro výrobu odlitků dle slévárenské technologie.

Výrobní časy pro každou operaci jsou uvedeny v operativním listu systému SURFCAM v příloze č.3.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. 3E PRAHA ENGINEERING a.s. *SolidWorks – Úplné řešení pro 3D konstrukci výrobků: Prezentační katalog*. 17 s.
2. 3E PRAHA ENGINEERING a.s. *Surfcam Velocity Powered by TrueMill. Nejnovější inovace v CAD/CAM technologii*. 6 s.
3. KAREL KOČMAN. *Speciální technologie Obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8
4. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. *Fundamentals of CNC Machining*. [online]. [cit. 2008-03-04]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz/html>>.
5. HOFFMANN GROUP. *Vedoucí evropský systémový partner pro kvalitní nářadí*. 2005/2006. 1350 s.
6. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
7. SUMITOMO ELECTRIC Hardmetall Ltd. (UK and Ireland). *High Performance Milling Tools*. Buckinghamshire. 99 s.
8. ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
9. TAJMAC-ZPZ, a.s. *Výroba obráběcích strojů*. [online]. [cit. 2008-04-04]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.tajmac-zps.cz/pdf/MCV_1210_A4_CZ.pdf>
10. WALTER CZ spol. s.r.o. Kuřim. *Test the best. Frézování s hlavičkami: Systém hlav k našroubování NOVEX*. 16 s.

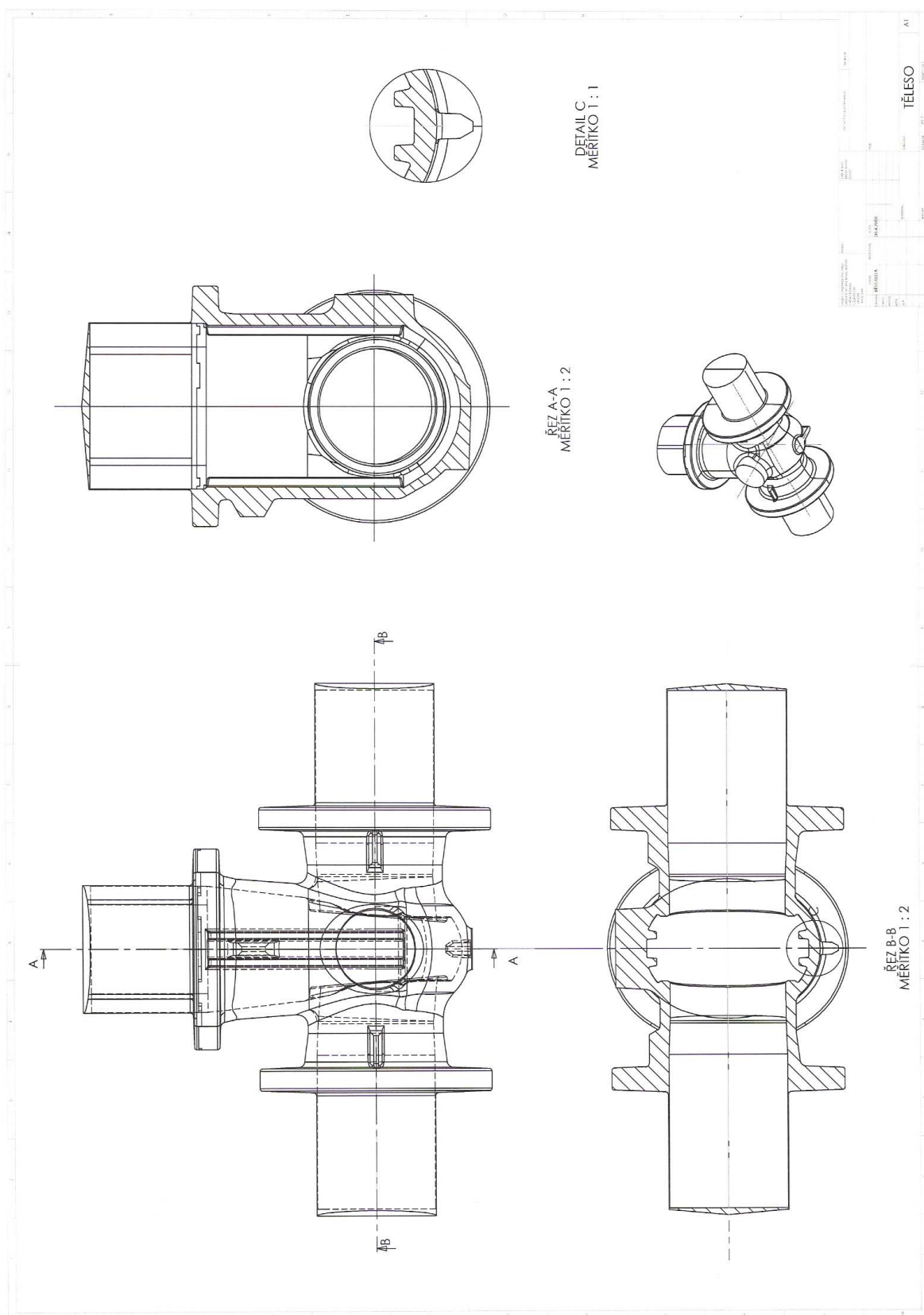
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAD	[-]	Computer Aided Design (Počítačem podporovaná konstrukce)
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing (Automatizované řízení výroby)
CNC	[-]	Computer Numeric Kontrol (Číslicové řízení počítačem)
HSC	[-]	High Speed Cutting (Vysokorychlostní obrábění)
NC	[-]	Numeric Control (Číslicové řízení)
3-Axis	[-]	3osý
SRM	[-]	Step Reduction Milling (Redukce krokového obrábění)
TrueMill	[-]	Tool Radius Uniform Engagement (Konstantní vytížení nástroje)
a_e	[mm]	šířka záběru ostří
a_p	[mm]	hloubka řezu
d	[mm]	průměr stopky frézy
d_1	[mm]	průměr závitů výměnné frézovací hlavičky nástroje
D	[mm]	průměr frézy
D_C	[mm]	průměr řezné části frézy
D_W	[mm]	efektivní průměr nástroje (účinný průměr)
f	[mm]	posuv
f_z	[mm]	posuv na zub
l_1	[mm]	délka nástroje
l_2	[mm]	délka ostří nástroje
l_3	[mm]	délka přesahu nástroje
L_1	[mm]	délka upínače
L_4	[mm]	rozměr
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
r	[mm]	zaoblení rohu břitové destičky
r_ε	[mm]	zaoblení špičky nástroje
v_C	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	rychlost posuvu
x_1	[mm]	délka výměnné frézovací hlavičky nástroje
z	[-]	počet zubů
z_n	[-]	počet efektivních zubů

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres modelu Tělesa
Příloha 2 CNC program pozn. (pouze v elektronické podobě z důvodů velikosti programu)
Příloha 3 Operativní list systému SURFCAM

Příloha 1



Příloha 2

Začátek programu „Vrchní_Polovina“ modelu.

```
0 BEGIN PGM Vrchní_Polovina MM
1 ; -- DEFINICE POLOTOVARU
2 BLK FORM 0.1 Z X-363.47 Y-166.37 Z-10.
3 BLK FORM 0.2 X363.47 Y398.893 Z177.007
4 ; -- DEFINICE CYKLU PRO PLYNULE PRUJEZDY
5 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
6 CYCL DEF 32.1 T0.04
7 ; -- SEZNAM NASTROJU POUZITYCH V TOMTO PROGRAMU
8 ; T1 FREZA VALCOVA - PRUM 25./ ROHOVY RADIUS 0
9 ; T15 FREZA KULOVA - PRUM 20./ ROHOVY RADIUS 10.
10 ; T17 FREZA KULOVA - PRUM 16./ ROHOVY RADIUS 8.
11 ; T19 FREZA KULOVA - PRUM 12./ ROHOVY RADIUS 6.
12 ; T13 FREZA KULOVA - PRUM 10./ ROHOVY RADIUS 5.
13 ; T11 FREZA KULOVA - PRUM 8./ ROHOVY RADIUS 4.
14 ; -- KONEC SEZNAMU --
15 ;HRUBOVANI fr. val. 25x160
16 ; T1 FREZA VALCOVA - PRUM 25./ ROHOVY RADIUS 0
17 ; -- DEFINICE POSUVU PRO NASTROJ
18 FN 0: Q1 = 1000. ;(ZAPICHOVACI POSUV)
19 FN 0: Q2 = 1528. ;(PRACOVNI POSUV)
20 FN 0: Q3 = 20000 ;(RYCHLOPOSUV)
21 FN 0: Q4 = 20000 ;(PLYNULY RYCHLOPOSUV)
22 TOOL CALL 1 Z S7640
23 L Z+182. R0 FQ3 M3
24 L X+2.083 Y+264.118 FQ3
25 L Z+182. M8
26 Q22 = Q2*1.
27 FQ22
28 L Z+183.007 FQ3
29 FQ1
30 L Z+177.007
31 FQ22
32 L X+2.083 Y+251.618
33 L X+33.599 Y+251.617
34 CC X+33.599 Y+250.14
35 C X+35.077 Y+250.14 DR-
36 L X+35.082 Y+227.712
37 L Y+185.857
38 CC X+33.605 Y+185.857
39 C X+33.605 Y+184.38 DR-
40 L X-33.531 Y+184.383
41 CC X-33.531 Y+185.86
42 C X-35.002 Y+185.721 DR-
43 L X-35.083 Y+186.581
44 L X-35.085 Y+187.484
45 L Y+250.141
46 CC X-33.607 Y+250.141
47 C X-33.607 Y+251.619 DR-
48 L X+2.083 Y+251.618
49 L X+2.083 Y+240.618
50 L X+24.079 Y+240.617
51 L X+24.082 Y+227.708
52 L Y+195.38
53 L X-24.085 Y+195.382
```

Příloha 3

SURFCAM

OPERATIONS LIST

Date: Fri Apr 18 2008

Time: 07:39:01

Output Filename: Vrchni_Polovina.INC

Tool Number	Operation	Plunge Rate	Feed Rate	Spindle Speed	Min X	Min Y	Min Z	Max X	Max Y	Max Z	Cycle Time
1	3 Osé Z Hrubování	1000.000	1528.00 mm/min	7640 ot/min	-363.4702	-166.3700	0.0000	363.4702	398.8929	183.0070	3:28:20
15	3D Ofset	1000.000	2550.00 mm/min	12581 ot/min	-356.4705	-160.8969	-10.0000	356.4642	388.8219	182.0000	2:34:6
17	Tužkové Frézování	300.000	995.00 mm/min	4974 ot/min	-194.5236	-96.0187	-7.3812	194.5236	244.7805	182.0000	0:2:31
19	Tužkové Frézování	300.000	2653.00 mm/min	6632 ot/min	-192.5922	-126.5015	-5.0047	192.5922	242.8491	182.0000	0:1:28
13	Tužkové Frézování	300.000	1592.00 mm/min	7958 ot/min	-191.6267	-125.6592	-3.8667	191.6267	241.8836	182.0000	0:1:27
11	Tužkové Frézování	150.000	1990.00 mm/min	9948 ot/min	-190.6613	-125.6247	-3.9177	190.6612	240.9183	182.0000	0:1:41
Overall					-363.4702	-166.3700	-10.0000	363.4702	398.8929	183.0070	6:9:35

Operation Number	Tool Number	Comments	
1	1	Operation Comments:	HRUBOVANI fr. val. 25x160
		Tool Comments:	25mm - 2 flute - HSS Endmill
2	15	Operation Comments:	DOKONČENÍ fr. kul. 20x160
		Tool Comments:	20mm - 4 flute - HSS Ballmill
3	17	Operation Comments:	TUŽKOVÉ OBRÁBĚNÍ fr. kul. 16x150
		Tool Comments:	16mm - 4 flute - HSS Ballmill
4	19	Operation Comments:	TUŽKOVÉ OBRÁBĚNÍ fr. kul. 12x120
		Tool Comments:	12mm - 2 flute - HSS Ballmill
5	13	Operation Comments:	TUŽKOVÉ OBRÁBĚNÍ fr. kul. 10x120
		Tool Comments:	10mm - 2 flute - HSS Ballmill
6	11	Operation Comments:	TUŽKOVÉ OBRÁBĚNÍ fr. kul. 8x120

